รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

# โครงการการพัฒนาวิธีทดสอบอย่างง่าย สำหรับการตรวจสอบคุณภาพเนื้อดินปั้นพื้นบ้าน

โดย ดร. อภินนท์ นันทิยา และคณะ

ตุลาคม 2549

**สัญญาเลขที่** RDG4850037

**รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์**

# โครงการการพัฒนาวิธีทดสอบอย่างง่าย สำหรับการตรวจสอบคุณภาพเนื้อดินปั้นพื้นบ้าน

**คณะผู้วิจัย** **สังกัด**

1. **ดร. อภินนท์ นันทิยา ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**
2. **ดร. สุธี วัฒนศิริเวช สำนักวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง**

**ชุดโครงการสนับสนุนผู้ปฏิบัติการวิจัยในภาคอุตสาหกรรม**

**สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)**

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

# สารบัญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| บทสรุปย่อสำหรับผู้บริหาร | 4 |
| บทคัดย่อ / Abstract | 6 |
| แบบสรุปโครงการวิจัย | 8 |
| บทนำและการทบทวนเอกสารวิชาการ | 12 |
| การทดลอง | 16 |
| ผลการทดลองและวิจารณ์ผล | 22 |
| สรุปผลการทดลอง | 38 |
| การพัฒนาเครื่องมือทดสอบเนื้อดินปั้นอย่างง่าย | 41 |
| เอกสารอ้างอิง | 47 |
| ภาคผนวก | 48 |
| บทความเผยแพร่ | 56 |

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**


| | | |
|---|---|---|
| 3.1 | ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดินด้วยปริมาณกากค้างตะแกรงร่อน | 22 |
| 3.2 | ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของตัวอย่างดินที่ผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช | 22 |
| 3.3 | ร้อยละโดยน้ำหนักของออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบในดินซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDXRF | 23 |
| 3.4 | ปริมาณน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก | 27 |
| 3.5 | การหดตัวของเนื้อดินหลังอบแห้งและหลังเผา | 28 |
| 3.6 | ร้อยละของการดูดซึมน้ำของตัวอย่างดินหลังเผาที่ 800 และ 1000°C | 30 |

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | ลักษณะโดยทั่วไปของตัวอย่างดิน M1-M6 | 17 |
| 3.1 | ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของดิน M1, M2 และ M3 | 25 |
| 3.2 | ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของดิน M4, M5 และ M6 | 26 |
| 3.3 | ร้อยละของน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ทำให้ดินเกิดความเหนียว | 27 |
| 3.4 | ค่าร้อยละของการหดตัวของเนื้อดินหลังอบแห้ง หลังเผาที่ 800 และ 1000°C | 29 |
| 3.5 | กราฟเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินที่ผ่านการเผาที่ 800 และ 1000°C | 31 |
| 3.6 | การเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรงของเนื้อดินตัวอย่าง กับอุณหภูมิในการเผา | 31 |
| 3.7 | ผลของปริมาณทรายที่เติมในเนื้อดิน M3 ต่อค่าความแข็งแรงหลังเผา | 32 |
| 3.8 | ผลของการเติมทรายในเนื้อดิน M3 ที่มีต่อ (a) ค่าการหดตัว และ (b) ค่าความพรุนตัว(การดูดซึมน้ำ) หลังเผาที่ 1000°C, และ (c) ค่าปริมาณน้ำสูงสุดที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก ตามลำดับ | 33 |
| 3.9 | ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง แสดงลักษณะของเนื้อดิน M1-M3 หลังเผา | 34 |
| 3.10 | ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง แสดงลักษณะของเนื้อดิน M4-M6 หลังเผา | 35 |
| 3.11 | ภาพถ่ายชิ้นงานก่อนเผาของเนื้อดิน M1-M6 | 36 |
| 3.12 | ภาพถ่ายชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ของเนื้อดิน M1-M6 | 37 |
| 5.1 | ชุดตะแกรงร่อนสำหรับหาปริมาณกากค้างตะแกรง | 43 |
| 5.2 | แผ่นปูนปลาสเตอร์ สำหรับหาปริมาณน้ำสูงสุดที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก | 43 |
| 5.3 | เครื่องรีดดิน ออกแบบและผลิตโดย อาจารย์สุรสิทธิ์ ปุสุรินทร์คำ วิทยาลัยอาชีวะเชียงราย | 44 |
| 5.4 | อุปกรณ์สำหรับอ่านค่าการหดตัวของเนื้อดิน | 44 |
| 5.5 | ชุดทดสอบความแข็งแรงของแท่งดินแบบกดสามจุด | 45 |
| 5.6 | เตาเผาแบบใช้แกสสำหรับการเผาและการอบแห้งชิ้นทดสอบ | 45 |
| 5.7 | เครื่องชั่งไฟฟ้าสำหรับการชั่งน้ำหนักดินเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้น | 46 |

# บทสรุปย่อสำหรับผู้บริหาร

1. **ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย)**

   การพัฒนาวิธีทดสอบอย่างง่าย สำหรับการตรวจสอบคุณภาพเนื้อดินปั้นพื้นบ้าน

   **(ภาษาอังกฤษ)**

   Development of Simplified Methods for Quality Evaluation of Local Clay Body

2. **ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ** E-mail


| | |
|---|---|
| **ชื่อ-สกุล** | ดร. อภินนท์ นันทิยา |
| **หน่วยงาน** | ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ |
| **ที่อยู่** | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50002 |
| **โทรศัพท์** | 053 943405 **โทรสาร** 053 892262 |
| E-mail | anuntiya@chiangmai.ac.th |


3. **ระยะเวลาดำเนินการ** 9 เดือน
4. **ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญของปัญหา**

เครื่องปั้นดินเผาบ้านเหมืองกุงมีจุดเริ่มเมื่อประมาณสองร้อยปีก่อน จากการทำภาชนะเครื่องปั้นดินเผาเพื่อใช้ในชีวิตประจำวันของชาวบ้าน เช่น หม้อดินใส่น้ำดื่ม เป็นต้น นอกจากให้ประโยชน์ใช้สอยแล้ว ยังมีคุณค่าทางศิลปะที่ประณีต งดงาม มีกรรมวิธีการผลิตที่เรียบง่าย และได้สืบทอดต่อมาจนถึงปัจจุบัน

สำหรับกรรมวิธีในการผลิตแบบดั้งเดิม เริ่มต้นจากการขุดดินเหนียวริมแหล่งน้ำ (เหมือง) มาสับหรือทุบเป็นก้อนเล็ก ๆ แล้วผึ่งแดดให้แห้ง ก่อนนำไปตำให้ละเอียดเป็นผงด้วยครกกระเดื่อง (แต่ปัจจุบันนิยมใช้เครื่องโม่แบบไฟฟ้าเพราะสะดวกรวดเร็วกว่า) จากนั้น ร่อนดินที่บดย่อยด้วยตะแกรงร่อน นำผงที่ผ่านการร่อนผสมน้ำแล้วหมักทิ้งไว้ประมาณหนึ่งวันก่อนจะนำมานวดให้มีความเหนียวที่เหมาะสม แล้วนำมาปั้นเป็นผลิตภัณฑ์บนแป้นหมุน ผลิตภัณฑ์ที่ปั้นเสร็จ จะถูกทิ้งไว้ครึ่งวันเพื่อให้เนื้อดินเริ่มแห้งหมาดและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะถูกทาด้วยดินแดงผสมน้ำมัน และขัดผิวให้เรียบเป็นมันด้วยมือโดยใช้ก้อนกรวดผิวมน หลังจากนั้น ผึ่งลมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์แห้งสนิทแล้วจึงนำไปเผาในเตาแบบทางเดินลมร้อนขึ้น ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ให้อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

จากการสัมภาษณ์คุณวุฒิ เตชะแก้ว ตัวแทนกลุ่มชาวบ้านเหมืองกุงทำให้ทราบว่า ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของหมู่บ้าน เช่น การถมที่เพื่อสร้างถนน สร้างที่อยู่อาศัยทำให้แหล่งวัตถุดินที่สำคัญคือดินเหนียวได้เริ่มหมดไป จากเดิมที่เคยขุดดินได้จากบริเวณริมลำเหมืองในหมู่บ้าน ก็จำเป็นต้องซื้อดินเหนียวที่ได้จากการขุดบ่อปลากลางทุ่งนาหรือเชิงเขาในหมู่บ้านอื่นมาใช้แทน แต่ปัญหาสำคัญของการซื้อดินจากแหล่งอื่น คือ คุณสมบัติของดินที่ไม่แน่นอน ถึงแม้ว่าดินที่ซื้อมาจะมีความเหนียวสามารถใช้ปั้นขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้เช่นเดียวกับแหล่งดินเก่าก็ตาม แต่มักจะพบปัญหาตามมาหลายอย่างดังนี้

*ปัญหาเรื่องสีของดิน* คือ ดินจะออกสีคล้ำมากขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ประมาณ 2-4 สัปดาห์ เพื่อรอให้แห้ง และเมื่อนำผลิตภัณฑ์นั้นไปเผา สีของผลิตภัณฑ์หลังเผาก็เป็นสีออกแดงคล้ำ ไม่ใช่สีแบบดั้งเดิมที่ลูกค้าต้องการ ปัญหานี้สันนิษฐานว่าน่าจะเกิดจากปริมาณของแร่เหล็กในเนื้อดินสูงมากเกินไป

*ปัญหาผลิตภัณฑ์แตกร้าว* ซึ่งพบทั้งก่อนและหลังเผา แต่มักจะพบบ่อยในผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ (สูงกว่า 50 เซนติเมตร) คาดว่า น่าจะเกิดจากการที่เนื้อดินมีค่าการหดตัวสูงมากเกินไป

*ปัญหาเนื้อผลิตภัณฑ์มีการกระเทาะ* ซึ่งพบเป็นบางจุด มีสาเหตุมาจากอนุภาคของปูนขาวที่ปะปนอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์หลังเผา เมื่อทิ้งไว้ระยะหนึ่ง เม็ดปูนก็จะดูดความชื้นและขยายตัวดันให้ผิวผลิตภัณฑ์แตกและหลุดออกไป

*ปัญหาดินทนไฟสูง* ดินจากแหล่งอื่นเมื่อเผาด้วยเตาและวิธีการเผาแบบเดิม ที่ 800 องศาเซลเซียส อนุภาคในเนื้อดินยังไม่เกิดการหลอมตัว อาจเป็นเพราะมีปริมาณทรายสูงเกินไป หรือในดินอาจมีตัวช่วยหลอมน้อยเกินไป ทำให้อนุภาคต่างๆ ยังไม่ประสานกันดี เคาะแล้วเสียงไม่กังวาน เมื่อนำไปใช้งาน ผลิตภัณฑ์จะยุ่ยและเกิดการหลุดร่อนออกไปเรื่อย ๆ

ดังนั้น สิ่งที่คณะผู้วิจัยและตัวแทนชุมชนบ้านเหมืองกุงมีความเห็นตรงกัน คือ ต้องพัฒนาวิธีการและอุปกรณ์อย่างง่ายในการตรวจสอบดินว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาใช้หรือไม่ก่อนนำไปใช้ โดยวิธีการและอุปกรณ์นั้น ๆ ต้องให้ผลการตรวจสอบที่รวดเร็ว ใช้เวลาไม่เกินสองวัน ให้ผลที่ถูกต้องแม่นยำพอสมควร และต้องสะดวกไม่ยุ่งยากเพื่อให้ชาวบ้านสามารถทำการทดสอบได้เอง

# บทคัดย่อ

ได้ศึกษาผลของลักษณะเฉพาะ (ขนาดอนุภาค องค์ประกอบทางแร่ องค์ประกอบทางเคมี) ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ (สภาพพลาสติก การหดตัว การดูดซึมน้ำหลังเผา ความแข็งแรง) ของเนื้อดินปั้น 6 ตัวอย่างที่ใช้ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาบ้านเหมืองกุง พบว่าดินทุกตัวอย่างมีแร่เคโอลิไนต์เป็นองค์ประกอบ แต่ในตัวอย่างดินกลุ่มที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยสูง (M1 และ M5) มีแร่ควอทซ์ ออร์โทเคลส และไมโครไคลน์ ในปริมาณที่มากกว่าดินกลุ่มที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยต่ำ (M3 M4 และ M6) ซึ่งมีผลให้ดินกลุ่มแรก มีการใช้น้ำที่น้อยกว่าสำหรับทำให้ดินเกิดสภาพพลาสติก (< ร้อยละ 30) มีค่าการหดตัวเมื่อแห้งและการหดตัวหลังเผาที่ 1000 $^{o}$C ต่ำกว่า (ค่าการหดตัวรวม < ร้อยละ 6.5) มีค่าการดูดซึมน้ำเกือบคงที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาจาก 800$^{o}$C เป็น 1000$^{o}$C และมีค่าความแข็งแรงหลังเผาที่ต่ำกว่าของดินกลุ่มหลัง และจากผลการทดลอง ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานรวมทั้งได้พัฒนาชุดอุปกรณ์อย่างง่ายสำหรับใช้ประเมินสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นบ้านเหมืองกุง โดยใช้ผลการวิเคราะห์ปริมาณกากค้างตะแกรง การหาปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับทำให้ดินเกิดสภาพพลาสติก และการวัดค่าการหดตัวของดินหลังเผาของดินตัวอย่าง

**คำหลัก**: เนื้อดินปั้น, การประเมินคุณภาพ, สมบัติทางกายภาพ

# Abstract

Inter-relationship between particle characteristic (e.g. particle size distribution, mineral content, chemical composition) and its physical properties (e.g. plasticity, shrinkage, water absorption, and strength) of six plastic clays used in production of Muang Kung earthenware were studied. Mineral analysis by XRD indicated that kaolinite was common in every clay samples. However, clay samples with greater average particle size (M1, M5) contained more non-plastic minerals such as quartz, orthoclase and microcline than those with lower average particle size (M3, M4 and M6). As a result, the former group of clays exhibited lower plasticity (water of plasticity < 30wt%), lower drying and firing shrinkage (<6.5%), no different in water absorption values between samples fired at 800$^{o}$C and 1000$^{o}$C, and lower strength comparing with the latter. Finally, clay evaluation methods as well as simple testing equipment based on sieve analysis, water of plasticity, and firing shrinkage were developed.

**Keywords:** Plastic Clay, Evaluation, Physical Properties

# แบบสรุปโครงการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม (ฝ่าย 5)

**สัญญาเลขที่** RDG4850037

**ชื่อโครงการ** การพัฒนาวิธีทดสอบอย่างง่าย สำหรับการตรวจสอบคุณภาพเนื้อดินปั้นพื้นบ้าน

**หัวหน้าโครงการ** ดร. อภินนท์ นันทิยา

**สถาบัน** ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

**โทรศัพท์** 053 943405 **โทรสาร** 053 892262

E-mail anuntiya@chiangmai.ac.th

## 5. ความสำคัญ / ความเป็นมา

เครื่องปั้นดินเผาบ้านเหมืองกุงมีจุดเริ่มเมื่อประมาณสองร้อยปีก่อน จากการทำภาชนะเครื่องปั้นดินเผาเพื่อใช้ในชีวิตประจำวันของชาวบ้าน เช่น หม้อดินใส่น้ำดื่ม เป็นต้น นอกจากให้ประโยชน์ใช้สอยแล้ว ยังมีคุณค่าทางศิลปะที่ประณีต งดงาม มีกรรมวิธีการผลิตที่เรียบง่าย และได้สืบทอดต่อมาจนถึงปัจจุบัน

สำหรับกรรมวิธีในการผลิตแบบดั้งเดิม เริ่มต้นจากการขุดดินเหนียวริมแหล่งน้ำ (เหมือง) มาสับหรือทุบเป็นก้อนเล็ก ๆ แล้วผึ่งแดดให้แห้ง ก่อนนำไปตำให้ละเอียดเป็นผงด้วยครกกระเดื่อง (แต่ปัจจุบันนิยมใช้เครื่องโม่แบบไฟฟ้าเพราะสะดวกรวดเร็วกว่า) จากนั้น ร่อนดินที่บดย่อยด้วยตะแกรงร่อน นำผงที่ผ่านการร่อนผสมน้ำแล้วหมักทิ้งไว้ประมาณหนึ่งวันก่อนจะนำมานวดให้มีความเหนียวที่เหมาะสม แล้วนำมาปั้นเป็นผลิตภัณฑ์บนแป้นหมุน ผลิตภัณฑ์ที่ปั้นเสร็จ จะถูกทิ้งไว้ครึ่งวันเพื่อให้เนื้อดินเริ่มแห้งหมาดและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะถูกทาด้วยดินแดงผสมน้ำมัน และขัดผิวให้เรียบเป็นมันด้วยมือโดยใช้ก้อนกรวดผิวมน หลังจากนั้น ผึ่งลมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์แห้งสนิทแล้วจึงนำไปเผาในเตาแบบทางเดินลมร้อนขึ้น ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ให้อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

จากการสัมภาษณ์คุณวุฒิ เตชะแก้ว ตัวแทนกลุ่มชาวบ้านเหมืองกุงทำให้ทราบว่า ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของหมู่บ้าน เช่น การถมที่เพื่อสร้างถนน สร้างที่อยู่อาศัยทำให้แหล่งวัตถุดินที่สำคัญคือดินเหนียวได้เริ่มหมดไป จากเดิมที่เคยขุดดินได้จากบริเวณริมลำเหมืองในหมู่บ้าน ก็จำเป็นต้องซื้อดินเหนียวที่ได้จากการขุดบ่อปลากลางทุ่งนาหรือเชิงเขาในหมู่บ้านอื่นมาใช้แทน แต่ปัญหาสำคัญของการซื้อดินจากแหล่งอื่น คือ คุณสมบัติของดินที่ไม่แน่นอน ถึงแม้ว่าดินที่ซื้อมาจะมีความเหนียวสามารถใช้ปั้นขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้เช่นเดียวกับแหล่งดินเก่าก็ตาม แต่มักจะพบปัญหาตามมาหลายอย่างดังนี้

*ปัญหาเรื่องสีของดิน* คือ ดินจะออกสีคล้ำมากขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ประมาณ 2-4 สัปดาห์ เพื่อรอให้แห้ง และเมื่อนำผลิตภัณฑ์นั้นไปเผา สีของผลิตภัณฑ์หลังเผาก็เป็นสีออกแดงคล้ำ ไม่ใช่สีแบบดั้งเดิมที่ลูกค้าต้องการ ปัญหานี้สันนิษฐานว่าน่าจะเกิดจากปริมาณของแร่เหล็กในเนื้อดินสูงมากเกินไป

*ปัญหาผลิตภัณฑ์แตกร้าว* ซึ่งพบทั้งก่อนและหลังเผา แต่มักจะพบบ่อยในผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ (สูงกว่า 50 เซนติเมตร) คาดว่า น่าจะเกิดจากการที่เนื้อดินมีค่าการหดตัวสูงมากเกินไป

*ปัญหาเนื้อผลิตภัณฑ์มีการกระเทาะ* ซึ่งพบเป็นบางจุด มีสาเหตุมาจากอนุภาคของปูนขาวที่ปะปนอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์หลังเผา เมื่อทิ้งไว้ระยะหนึ่ง เม็ดปูนก็จะดูดความชื้นและขยายตัวดันให้ผิวผลิตภัณฑ์แตกและหลุดออกไป

*ปัญหาดินทนไฟสูง* ดินจากแหล่งอื่นเมื่อเผาด้วยเตาและวิธีการเผาแบบเดิม ที่ 800 องศาเซลเซียส อนุภาคในเนื้อดินยังไม่เกิดการหลอมตัว อาจเป็นเพราะมีปริมาณทรายสูงเกินไป หรือในดินอาจมีตัวช่วยหลอมน้อยเกินไป ทำให้อนุภาคต่างๆ ยังไม่ประสานกันดี เคาะแล้วเสียงไม่กังวาน เมื่อนำไปใช้งาน ผลิตภัณฑ์จะยุ่ยและเกิดการหลุดร่อนออกไปเรื่อย ๆ

ดังนั้น สิ่งที่คณะผู้วิจัยและตัวแทนชุมชนบ้านเหมืองกุงมีความเห็นตรงกัน คือ ต้องพัฒนาวิธีการและอุปกรณ์อย่างง่ายในการตรวจสอบดินว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาใช้หรือไม่ก่อนนำไปใช้ โดยวิธีการและอุปกรณ์นั้น ๆ ต้องให้ผลการตรวจสอบที่รวดเร็ว ใช้เวลาไม่เกินสองวัน ให้ผลที่ถูกต้องแม่นยำพอสมควร และต้องสะดวกไม่ยุ่งยากเพื่อให้ชาวบ้านสามารถทำการทดสอบได้เอง

**วัตถุประสงค์โครงการ**

1. เพื่อให้ทราบว่าสมบัติทางกายภาพของดินข้อใด ที่มีผลต่อการเกิดตำหนิประเภทต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาบ้านเหมืองกุง
2. เพื่อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำในการประเมินคุณภาพของเนื้อดินปั้นโดยอาศัยการวิเคราะห์สมบัติกายภาพ ว่าเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ผลิตเป็นเครื่องปั้นดินเผาด้วยวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมของชุมชนบ้านเหมืองกุงหรือไม่
3. เพื่อพัฒนาวิธีการและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์สมบัติกายภาพ ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ให้ง่ายและเหมาะสมกับการใช้งานโดยกลุ่มชาวบ้านชุมชนบ้านเหมืองกุง

| ผลที่ได้รับ | บรรลุวัตถุประสงค์ข้อที่ | โดยทำให้ |
|---|---|---|
| ทราบถึงสมบัติทางกายภาพของดินแต่ละแหล่ง ที่ส่งผลต่อปัญหาและตำหนิของผลิตภัณฑ์ | 1 | ทราบปัจจัยหลักที่ส่งผลถึงกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ กระบวนการอบแห้ง และกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์ |
| ทราบเกณฑ์มาตรฐานในการประเมินคุณภาพของเนื้อดินปั้น | 2 | ทราบเกณฑ์ในการตัดสินใจในการเลือกซื้อวัตถุดิบ และยังช่วยลดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ |
| พัฒนาวิธีการและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์สมบัติกายภาพ ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด | 3 | ได้เครื่องมือที่ใช้ทดสอบดินอย่างง่ายเพื่อช่วยให้ผู้ประกอบการใช้ในการทดสอบดินก่อนการตัดสินใจเลือกซื้อ |

**การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์**

การควบคุมและตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบนับเป็นขั้นตอนแรกสำคัญยิ่งในกระบวนการผลิตทั้งหมด เพราะหากมีปัญหาอันเกิดจากวัตถุดิบไม่มีคุณภาพหรือไม่ได้มาตรฐานแล้ว ก็มักจะพบปัญหาตามมาในทุกๆ ขั้นตอนการผลิต และการแก้ไขมักจะทำได้ยาก มีอัตราการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ที่สูง ดังนั้น การให้ความสำคัญกับการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบให้เหมาะสมเป็นขั้นตอนแรก แม้ต้องอาศัยเวลา แรงงานและทรัพยากรบ้าง จะเป็นทางเลือกในการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ในระยะสั้นสามารถลดปัญหาเฉพาะหน้าให้กับชุมชนได้อย่างรวดเร็ว ในระยะยาวจะเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า ให้ผลลัพธ์ที่ดีต่อผู้ผลิตต่อไป

**การประชาสัมพันธ์**

- จัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ

| **กิจกรรม (ตามแผน)** | **ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ตามแผน)** | **ผลการดำเนินงาน** | **หมายเหตุ** |
|---|---|---|---|
| สำรวจและเก็บข้อมูลปัญหาในพื้นที่ เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์และดินที่มีและไม่มีตำหนิกำหนดแผนการดำเนินงาน และประสานงานฝ่ายต่างๆ | มีอุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับการทดสอบคุณภาพดินพร้อมใช้งาน | ดำเนินการตามแผน | |
| วิเคราะห์ขนาดของอนุภาคดินด้วยวิธี Laser Diffraction | สามารถระบุปัจจัยทางกายภาพของดิน ที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้ครบถ้วน | ดำเนินการตามแผน | |
| วิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ (Quartz, Lime) ของตัวอย่างดินด้วย XRD | มีเกณฑ์มาตรฐานในการตรวจสอบคุณภาพดิน โดยใช้อุปกรณ์อย่างง่ายที่ผลิตขึ้น | ดำเนินการตามแผน | |
| วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างดินด้วย XRF | มีผลการทดลองภาคสนาม เพื่อนำมาปรับปรุงอุปกรณ์และกำหนดวิธีในการทดสอบให้ดียิ่งขึ้น | ดำเนินการตามแผน | |
| ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคของดินและผลิตภัณฑ์ | ทราบการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคหลังการเผา | ดำเนินการตามแผน | |
| สร้างเครื่องรีดดินอย่างง่ายสำหรับการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดิน | มีเครื่องรีดดินเพื่อใช้ในการเตรียมชิ้นทดสอบ | ดำเนินการตามแผน | |
| สร้างเตาไฟฟ้า 1000°C ขนาดเล็ก สำหรับการเผาทดสอบ | มีเตาเผาทดสอบชิ้นทดสอบ | ดำเนินการตามแผน | |
| สรุปโครงการและทำรายงานฉบับสมบูรณ์ | สรุปโครงการและทำรายงานฉบับสมบูรณ์ | ดำเนินการตามแผน | |

# 1. บทนำและการทบทวนเอกสารวิชาการ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

เครื่องปั้นดินเผาบ้านเหมืองกุงเริ่มต้นขึ้นเมื่อประมาณสองร้อยปีก่อน จากการทำภาชนะเครื่องปั้นดินเผาเพื่อใช้ในชีวิตประจำวันของชาวบ้าน เช่น หม้อดินใส่น้ำดื่ม เป็นต้น นอกจากให้ประโยชน์ใช้สอยแล้ว ยังมีคุณค่าทางศิลปะที่ประณีต งดงาม มีกรรมวิธีการผลิตที่เรียบง่าย ปัจจุบันมีลักษณะการผลิตเป็นอุตสาหกรรมครอบครัวขนาดเล็กภายในครอบครัวและเครือญาติ สำหรับกรรมวิธีในการผลิตแบบดั้งเดิม เริ่มต้นจากการขุดดินเหนียวริมแหล่งน้ำ (เหมือง) มาสับหรือทุบเป็นก้อนเล็ก ๆ แล้วผึ่งแดดให้แห้งก่อนนำไปตำให้ละเอียดเป็นผงด้วยครกกระเดื่อง (แต่ปัจจุบันนิยมใช้เครื่องโม่แบบไฟฟ้าเพราะสะดวกรวดเร็วกว่า) จากนั้น ร่อนดินที่บดย่อยด้วยตะแกรงร่อน นำผงที่ผ่านการร่อนผสมน้ำแล้วหมักทิ้งไว้ประมาณหนึ่งวันก่อนจะนำมานวดให้มีความเหนียวที่เหมาะสม แล้วนำมาปั้นเป็นผลิตภัณฑ์บนแป้นหมุน ผลิตภัณฑ์ที่ปั้นเสร็จ จะถูกทิ้งไว้ครึ่งวันเพื่อให้เนื้อดินเริ่มแห้งหมาดและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะถูกทาด้วยดินแดงผสมน้ำมัน และขัดผิวให้เรียบเป็นมันด้วยมือโดยใช้ก้อนกรวดผิวมน หลังจากนั้น ผึ่งลมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์แห้งสนิทแล้วจึงนำไปเผาในเตาแบบทางเดินลมร้อนขึ้น ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง อุณหภูมิภายในเตาประมาณ 800 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีแดงอมส้ม ผิวเรียบมันเคาะมีเสียงดังกังวาน สามารถใช้เป็นภาชนะบรรจุน้ำได้ดีไม่มีการยุ่ยของเนื้อผลิตภัณฑ์แม้ผ่านไปหลายปี

จากการสัมภาษณ์ตัวแทนกลุ่มชาวบ้านเหมืองกุงทำให้ทราบว่า ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของหมู่บ้าน เช่น การถมที่เพื่อสร้างถนน สร้างที่อยู่อาศัยทำให้แหล่งดินคุณภาพดีที่เคยหาได้ง่ายในชุมชนเริ่มหมดลง จำเป็นต้องซื้อดินเหนียวที่ได้จากการขุดบ่อปลากลางทุ่งนาหรือเชิงเขาในหมู่บ้านอื่นมาใช้แทน ปัจจุบันวิธีการจัดหาดินคือ โรงงานแต่ละแห่งติดต่อหาซื้อเอง ทำให้หลายโรงงานต้องประสบปัญหาเดียวกัน คือ คุณสมบัติของดินที่ไม่แน่นอน ถึงแม้ว่าดินที่ซื้อมาจะมีความเหนียวสามารถใช้ปั้นขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ก็ตาม แต่มักจะพบปัญหาตามมาหลายประการดังนี้

**ปัญหาผลิตภัณฑ์แตกร้าว** ซึ่งพบทั้งก่อนและหลังเผา แต่มักจะพบบ่อยในผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ (สูงกว่า 50 เซนติเมตร) คาดว่า น่าจะเกิดจากการที่เนื้อดินมีค่าการหดตัวสูงมากเกินไป

**ปัญหาเรื่องสีของดิน** คือ ดินจะออกสีคล้ำมากขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ประมาณ 2-4 สัปดาห์ เพื่อรอให้แห้ง และเมื่อนำผลิตภัณฑ์นั้นไปเผา สีของผลิตภัณฑ์หลังเผาเป็นสีออกแดงคล้ำ ไม่ใช่สีแบบดั้งเดิมที่ลูกค้าต้องการ ปัญหานี้สันนิษฐานว่าน่าจะเกิดจากปริมาณของแร่เหล็กในเนื้อดินสูงมากเกินไป

**ปัญหาเนื้อผลิตภัณฑ์มีการกะเทาะ** ซึ่งพบเป็นบางจุด มีสาเหตุมาจากอนุภาคของปูนขาวที่ปะปนอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์หลังเผา เมื่อทิ้งไว้ระยะหนึ่ง เม็ดปูนก็จะดูดความชื้นและขยายตัวดันให้ผิวผลิตภัณฑ์แตกและหลุดออกไป

**ปัญหาดินทนไฟสูง** ดินจากแหล่งอื่นบางแหล่ง เมื่อเผาด้วยเตาและวิธีการเผาแบบเดิม ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังไม่แข็งแรงเพียงพอ นั่นคือ เมื่อเคาะแล้วเสียงไม่กังวาน เมื่อนำไปใช้งานสักระยะหนึ่ง ผลิตภัณฑ์จะเริ่มยุ่ยและเกิดการหลุดร่อนออกไปเรื่อย ๆ อาจเป็นเพราะอนุภาคในเนื้อดินนั้นๆ ยังไม่เกิดการหลอมตัวเพราะมีปริมาณควอทซ์สูงเกินไป หรือในดินอาจมีตัวช่วยหลอมน้อยเกินไป ทำให้เนื้อดินยังไม่ประสานกันดี

การควบคุมและตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบนับเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญยิ่งในกระบวนการผลิตทั้งหมด เพราะหากมีปัญหาอันเกิดจากวัตถุดิบไม่มีคุณภาพหรือไม่ได้มาตรฐานแล้ว ก็มักจะพบปัญหาตามมาในทุกๆ ขั้นตอนการผลิต และการแก้ไขมักจะทำได้ยาก มีอัตราการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ที่สูง ดังนั้น การให้ความสำคัญกับการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบให้เหมาะสมเป็นขั้นตอนแรก แม้ต้องอาศัยเวลา แรงงานและทรัพยากรบ้าง แต่ก็คือทางเลือกในการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

สิ่งที่กลุ่มผู้วิจัยและตัวแทนชุมชนบ้านเหมืองกุงเห็นตรงกัน คือ ต้องการพัฒนาวิธีการและอุปกรณ์อย่างง่ายในการตรวจสอบดินก่อนนำไปใช้ ว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมหรือไม่ โดยวิธีการและอุปกรณ์เหล่านี้จะต้องปฏิบัติได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว ไม่ต้องอาศัยความรู้ด้านการวิเคราะห์ที่ยุ่งยากเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานโดยกลุ่มชาวบ้าน แต่สามารถให้ผลการตรวจสอบที่แม่นยำพอสมควรภายในเวลาอันสั้น

## 1.2 ทบทวนเอกสารวิชาการ

อรพิน สมมิตร [1] ได้ปรับปรุงองค์ประกอบของดินแดงบ้านสันจกปก จังหวัดพะเยา เพื่อพัฒนาคุณภาพของเครื่องปั้นดินเผาโดยใช้ ดินโดโลไมท์ ดินคอมพาวด์ และดินโรงงานศรีวรรณา เป็นส่วนผสม พบว่า การใช้ดินบ้านสันจกปก 80% ผสมกับดินโดโลไมท์ 20% เผาที่อุณหภูมิ 1,150°C จะได้สีดินเป็นสีแดงอิฐสวยงาม สีที่ได้ไม่เข้มจนเกินไป

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์ [2] ระบุว่า สำหรับในดินแดงทั่วไป (terra-cotta clay) จะมีอัลคาไลน์ต่างๆ หลายชนิดในปริมาณค่อนข้างสูง ซึ่งทำหน้าเป็นตัวช่วยหลอม ดังนั้นหากเผาสูงถึง 1,100 °C ดินมักจะยุบตัว เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C ดินจะหดตัวประมาณ 10-15% ซึ่งนับว่าค่อนข้างสูงและอาจมีผลให้ผลิตภัณฑ์บิดเบี้ยวหรือแตกร้าวได้ง่าย ดินเหนียวสีแดงที่เผาตั้งแต่ 750 –1000 °C มักจะยังมีค่าการดูดซึมน้ำสูงเกิน 7% นอกจากนี้ยังได้ระบุอีกว่าในดินแดงมักจะมีหินปูนอยู่ถึงประมาณ 10-20% ซึ่งเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูง หากในดินมีปริมาณของหินปูนมากเกินไปมักทำให้เกิดปัญหากับผลิตภัณฑ์

พิมพวัลคุ์ วัฒโนภาส และสุมาลี ลิขิตวนิชกุล [3] ได้วิจัยและพัฒนาเนื้อดินปั้นราชบุรี โดยการปรับปรุงวิธีการเตรียมเนื้อดินปั้นโอ่งราชบุรี เพื่อลดตำหนิจุดขาวและตุ่มสีน้ำตาลในเนื้อดินโดยใช้วิธีการบดด้วยเครื่องบด Jaw crusher, Roller crusher กรองผ่านตะแกรง 6 เมช และใช้ทรายที่กรองผ่านตะแกรง 16 เมช ผสมกันในอัตราส่วนของดินต่อทราย เป็น 9:1 โดยน้ำหนัก ความชื้น 30% พบว่า เนื้อดิน

ที่ได้สามารถใช้ปั้นโอ่งได้ดี ตำหนิและการแตกร้าวในผลิตภัณฑ์หลังเผาลดลงอย่างเห็นได้ชัด คุณภาพโดยรวมดีขึ้น

สุธี วัฒนศิริเวช และคณะ [4] ได้วิเคราะห์ตำหนิจากผลิตภัณฑ์ประเภทเอิร์ทเทินแวร์ จากโรงงานในจังหวัดเชียงใหม่ ที่เนื้อดินมีการกระเทาะหลุด ด้วยเทคนิค SEM / EDX พบว่า บริเวณที่เป็นตำหนิซึ่งเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าเห็นเป็นเม็ดสีขาวนั้นมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งบ่งชี้ว่า ในเนื้อดินมีแคลเซียมคาร์บอเนต (หินปูน) หรือแคลเซียมซัลเฟตปะปนอยู่ เมื่อได้รับความร้อนระหว่างการเผาที่ประมาณ 800 °C อนุภาคเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ หลังจากนั้นเมื่อได้รับความชื้นจากอากาศเพิ่มมากขึ้นเกิดการบวมตัวและดันตัวของเนื้อดิน ทำให้เกิดเป็นตำหนิดังกล่าว

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์ [2] ได้พัฒนาเนื้อดินปั้นสโตนแวร์จากแหล่งดินเหนียวปากเกร็ดซึ่งจัดเป็นดินเอิร์ทเทินแวร์ที่มีความเหนียวมากแต่มีการหดตัวสูงประมาณ 20% ซึ่งมีโอกาสแตกร้าวสูงให้มีค่าการหดตัวลดลงและมีความทนไฟสูงขึ้นโดยการใช้ดินขาวลำปาง ควอทซ์ และทัลคัม เป็นส่วนผสมพบว่า สูตรที่ดีคือมีอัตราส่วนผสมของดินเหนียวปากเกร็ดประมาณ 45% ดินขาวลำปางประมาณ 20% และควอทซ์ประมาณ 35% สามารถนำไปขึ้นรูปด้วยแป้นหมุนได้ดี เมื่อแห้งมีความแข็งแรงโดยมีค่าความแข็งแรงของเนื้อดินก่อนเผา ประมาณ 13–15 $kg/cm^2$ สามารถเผาได้ถึง 1200 °C และมีค่าการหดตัวประมาณ 13%

John Dickerson [5] ระบุว่าเนื้อดินปั้นที่ดีควรมีค่าการหดตัวของดินหลังตากแห้งระหว่าง 4-5% และมีค่าการหดตัวหลังเผาประมาณ 12-15%

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์ [2] กล่าวถึงสมบัติเชิงกลของดินกลุ่มเอิร์ทเทินแวร์ว่า มีค่าความแข็งแรงก่อนเผาประมาณ 32-46 $kg/cm^2$ และมีค่าความแข็งแรงหลังเผาประมาณ 490-630 $kg/cm^2$ ดินที่มีค่าความแข็งแรงก่อนเผาสูง เช่น ดินดำ มีอนุภาคที่ละเอียดมากและมีความเหนียวสูง มักจะมีปัญหาเรื่องค่าการหดตัวสูง

ความเหนียวของดินขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ หรือความชื้นในดิน ความเหนียว หรือ Plasticity ของดิน เป็นสมบัติที่ทดสอบได้ค่อนข้างยาก แม้ในปัจจุบันมีวิธีในการทดสอบหลายวิธีแต่ก็ยังไม่มีมาตรฐานหรือเทคนิคการทดสอบใดที่ได้รับการยอมรับเป็นสากล เนื่องจากค่าความเหนียวขึ้นอยู่กับปัจจัยในการทดสอบหลายประการ เช่น ปริมาณความชื้นในดิน ระยะเวลา และ ความดันที่ใช้ในการทดสอบ เป็นต้น [6] โดยปกติ ดินที่นำมาปั้นด้วยแป้นหมุน มักจะมีปริมาณความชื้นในดินที่เหมาะสมประมาณ 22-25% สำหรับการปั้นด้วยมือมักจะใช้ดินที่มีน้ำน้อยกว่าและมีความแข็งมากกว่าเล็กน้อย เปรียบเทียบกับการขึ้นรูปด้วยจิกเกอร์ที่มักจะมีปริมาณความชื้นในเนื้อดินอยู่ในช่วง 19-22%

โดยสรุป จากการทบทวนเอกสาร ทำให้ทราบถึงช่วงของเกณฑ์ในการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้น เช่น ค่าการหดตัว ปริมาณความชื้น ปริมาณหินปูน ความแข็งแรงก่อนและหลังเผา ได้อย่างคร่าว ๆ อย่างไรก็ดี ดินเหนียวเป็นดินที่มีองค์ประกอบที่หลากหลาย แหล่งดินเหนียวของแต่ละท้องถิ่นที่ห่างไกลกัน เช่น จากภูมิภาคอื่น อาจมีความแตกต่างกันอย่างมาก ทั้งด้านองค์ประกอบทาง

แร่ องค์ประกอบทางเคมี ขนาดอนุภาค เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานขึ้นเอง โดยการศึกษาวิเคราะห์สมบัติแหล่งดินเหนียวในท้องถิ่นที่ทำการศึกษา (พื้นที่ติดต่อหรือใกล้เคียงกับบ้านเหมืองกุง) ที่สามารถใช้ในการผลิตได้ดี มีคุณภาพ เป็นข้อมูลสำคัญในการสร้างเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการประเมินคุณภาพของดินปั้นแหล่งอื่นต่อไป

## 1.3 **วัตถุประสงค์**

1.3.1 เพื่อให้ทราบว่าปัจจัยทางกายภาพของดินในข้อใด ที่มีผลต่อสมบัติและการเกิดตำหนิประเภทต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาบ้านเหมืองกุง

1.3.2 เพื่อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำในการประเมินคุณภาพของเนื้อดินปั้นโดยอาศัยการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติกายภาพ

1.3.3 เพื่อพัฒนาวิธีการและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์สมบัติกายภาพ ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ให้ง่ายและเหมาะสมกับการใช้งานโดยกลุ่มชาวบ้านชุมชนบ้านเหมืองกุง

# 2. การทดลอง

กลุ่มผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างดินที่เคยมีการใช้งานจากโรงเก็บวัตถุดิบแห่งหนึ่งของผู้ประกอบการเซรามิกบ้านเหมืองกุง พร้อมสอบถามข้อมูลจากช่างปั้นเพื่อจำแนกดินที่ใช้งานได้ดีและดินที่มีปัญหา ได้ตัวอย่างดินรวมทั้งสิ้นจำนวน 6 ตัวอย่าง ตัวอย่างละประมาณ 20 โดยตัวอย่างดินทั้ง 6 ตัวอย่าง มีทั้งดินที่ใช้แล้วไม่ค่อยพบปัญหาการเกิดตำหนิ (M1, M5, M6) และดินที่เคยใช้แล้วมักจะทำให้เกิดตำหนิขึ้นกับผลิตภัณฑ์ (M2, M3 และ M4) ดินแต่ละตัวอย่างมีแหล่งที่มาและลักษณะเด่นดังนี้

**ดิน M1** เป็นดินที่ได้จากบริเวณทุ่งนา อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ โดยขุดมาจากชั้นดินที่อยู่ลึกจากผิวดินประมาณ 50 เซนติเมตร เป็นดินสีเหลืองปนดำ ปั้นขึ้นรูปบนแป้นหมุนได้ดี และมักจะไม่พบการแตกร้าวในผลิตภัณฑ์ทั้งก่อนและหลังการเผา

**ดิน M2** ชาวบ้านเรียกว่า ดินลูกรังภูเขา ได้มาจากบริเวณอำเภอสันป่าตองเช่นกัน มีสีออกเหลือง เมื่อปั้นเป็นผลิตภัณฑ์และทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลานาน ดินบริเวณผิวนอกของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนเป็นสีคล้ำ หลังการเผาสีที่ได้ก็จะคล้ำกว่าปกติและมักจะพบตำหนิที่เกิดจากปูนขาวดันตัวออกมา

**ดิน M3** มีสีออกเหลือง เป็นดินที่มีการหดตัวสูงและมักทำให้ผลิตภัณฑ์มีอัตราการแตกร้าวหลังการเผาสูง โดยเฉพาะกับผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ เช่น แจกันที่ประมาณ 60 เซนติเมตร ขึ้นไป

**ดิน M4** เป็นดินสีเทาภูเขา ได้จากแหล่งเดียวกันกับดิน M3 แต่จากความลึกที่ต่างกัน มีสมบัติและลักษณะที่ใกล้เคียงกับดิน M3 มีการหดตัวหลังเผาสูง

**ดิน M5** เป็นดินเหนียวสีเทาดำ ขุดได้จากริมลำเหมืองในบริเวณบ้านเหมืองกุงลึกจากผิวดิน-ประมาณ 30 เซนติเมตร เป็นดินที่เคยใช้ในการปั้นผลิตภัณฑ์มาแต่โบราณแต่ในปัจจุบันเหลืออยู่ไม่มากนัก เชื่อกันว่าเป็นดินที่มีสมบัติเหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตงานปั้นตามกรรมวิธีดั้งเดิมของชาวบ้านเหมืองกุง

**ดิน M6** เป็นดินผงเตรียมสำเร็จที่โรงงานหลายแห่งใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเตรียมโดยการนำดิน M3 และ M4 มาบดผสมกันแล้วเติมทรายเข้าไปโดยมีสัดส่วนของทราย 15 ส่วนต่อดิน 100 ส่วน

ตัวอย่างดินดังแสดงในภาพที่ 2.1 ถูกนำมาตรวจสอบลักษณะเฉพาะ องค์ประกอบ สมบัติทางกายภาพ และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพต่างๆ เพื่อหาคำอธิบายถึงสาเหตุของการเกิดตำหนิที่เคยพบมาก่อน ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

**ภาพที่** 2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของตัวอย่างดิน M1-M6

## 2.1 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค

ทำการบดย่อยเพื่อให้ดินจากแหล่งดินพื้นบ้านซึ่งมีขนาดของก้อนใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง ร่อนผงดินผ่านตะแกรงชนิดหยาบขนาด 35 เมช เพื่อแยกเอาเศษไม้ ก้อนกรวด หรือสิ่งปะปนอื่นๆ ที่มีขนาดใหญ่ออก เนื่องจากดินมีลักษณะที่ค่อนข้างหยาบ จึงได้ใช้เทคนิคการหาปริมาณกากค้างตะแกรงร่อนร่วมกับเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์ (Malvern รุ่น Mastersizer 2000) สำหรับการหาปริมาณกากค้างตะแกรง ทำการชั่งดินผง 100 กรัม ผสมน้ำ 200 ml เทผ่านชุดตะแกรงร่อนขนาด 60, 120, 200 และ 325 เมช ตามลำดับ ฉีดพ่นน้ำบนตะแกรงทีละชั้น เพื่อชะให้อนุภาคดินไหลผ่านไปยังชั้นต่อไปได้ จากนั้นนำกากที่ค้างตะแกรงแต่ละขนาดรวมทั้งอนุภาคที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 325 เมช ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักแห้งของอนุภาคดินจากตะแกรงแต่ละชั้น ส่วนอนุภาคที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 325 เมช ถูกนำไปวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเฉลี่ยด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์ในขั้นตอนต่อไป

## 2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยรังสีเอกซ์

นำผงดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช อัดเป็นเม็ดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร หนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร ใช้ความดันในการอัดขึ้นรูป 50 MPa นำชิ้นทดสอบไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ฟลูโอเรสเซน (X-ray fluorescent – XRF: Horiba รุ่น MESA-500W) ค่าความต่างศักย์ของหลอดรังสีเอกซ์ที่ 50 กิโลโวลต์ ใช้ระยะเวลาในการทดสอบด้วยรังสีเอกซ์ 5 นาที ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

## 2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction - XRD) สามารถระบุถึงชนิดของแร่ที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อดินตัวอย่างได้ โดยผู้วิจัยให้ความสนใจเป็นพิเศษสำหรับแร่ควอทซ์ และเฟลด์สปาร์ ซึ่งปริมาณของแร่ทั้งสองอย่างนี้มีผลต่อการหลอมตัวของเนื้อดินในผลิตภัณฑ์ ในการทดสอบ นำผงดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช บรรจุในแผ่นบรรจุตัวอย่างชนิดผง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction – XRD: Phillips รุ่น X-Pert Pro MPD)

## 2.4 การทดสอบความเหนียวจากสภาพพลาสติก (Plasticity)

แม้ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีในการทดสอบค่าความเหนียวของดินที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน แต่วิธีที่เป็นที่ยอมรับและใช้กันโดยทั่วไปเพื่อหาดัชนีชี้วัดระดับของ "ความเหนียว" (plasticity index) ของดินวิธีหนึ่ง คือการวัดปริมาณน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ทำให้ดินเกิดความเหนียว โดยปริมาณน้ำสูงสุด คือร้อยละ

โดยมวลของน้ำ ณ จุดที่น้ำดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากของเหลวกลายเป็นเนื้อดินที่มีสภาพพลาสติก ส่วนปริมาณน้ำต่ำสุด คือ ร้อยละโดยมวลของน้ำในเนื้อดินพลาสติก ณ จุดที่เนื้อดินเริ่มหมดสภาพพลาสติกหรือหมดความเหนียว โดยเนื้อดินเริ่มมีรอยฉีกหรือรานตัวเมื่อถูกแรงกระทำ ดินที่ "เหนียวมาก" มักจะต้องใช้น้ำผสมในปริมาณที่สูงกว่า จากค่าผลต่างของปริมาณน้ำสูงสุดและต่ำสุด สามารถใช้เปรียบเทียบความเหนียวของเนื้อดินปั้นแหล่งต่าง ๆ ได้ โดยดินที่มีผลต่างมากแสดงว่ามีช่วงในการใช้น้ำที่กว้าง น่าจะมีความเหนียวมาก เนื้อดินไม่ฉีกขาดง่ายเมื่อขึ้นรูปโดยการปั้น

**การวัดปริมาณน้ำสูงสุด** โดยการนำดินผสมกับน้ำขจัดประจุ (deionized water) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก ผสมและกวนให้เข้ากัน จากนั้นเทลงบนแผ่นปูนปลาสเตอร์เพื่อให้ปูนดูดน้ำออกจากดิน ใช้มีดกรีดซ้ำๆ บนดินที่เทไว้ จนถึงจุดที่รอยกรีดนั้นไม่กลับมาเชื่อมสมานกัน ลอกเอาดินส่วนนั้นไปชั่งน้ำหนักทันที บันทึกน้ำหนักก่อนอบแห้ง ($M_W$) นำชิ้นงานตัวอย่างนั้นๆ ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วบันทึกน้ำหนักแห้ง ($M_D$) จากนั้นคำนวณหาร้อยละของน้ำสูงสุดจากสูตร ดังนี้

$$\frac{M_W - M_D}{M_D} \times 100 \qquad \text{..... (1)}$$

**การวัดปริมาณน้ำต่ำสุด** นำดินผงที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช มาผสมกับน้ำปริมาณที่เหมาะสมจากการทดลองตอนที่แล้ว นวดด้วยมือจนได้เนื้อดินที่สม่ำเสมอ จากนั้นนำไปรีดเป็นเส้นด้วยเครื่องรีดดินแบบใช้คันโยกที่ให้เส้นดินทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหน้าตัดเท่ากับ 1.2 เซนติเมตร ตัดให้ได้ความยาวของแต่ละแท่งเป็น 4 เซนติเมตร จำนวน 5 แท่ง นำแท่งดินนั้นมาขดให้โค้งงอโดยให้ปลายทั้งสองของเส้นดินจรดกันเพื่อสังเกตการรานตัวของดิน ถ้าหากดินยังไม่มีรอยแตกรานแสดงว่า ในดินมีปริมาณน้ำอยู่พอเพียง นำดินทั้งหมดไปนวดต่อเพื่อลดปริมาณน้ำลงแล้วรีดเป็นเส้นเพื่อขดดูรอยราน ทำซ้ำจนแท่งดินที่ขดเกิดรอยรานซึ่งแสดงว่าดินนั้นมีปริมาณน้ำขั้นต่ำสุด ตัดดินในส่วนที่เหลือจากการรีดนำไปชั่งหาน้ำหนักก่อนอบแห้ง ($M_W$) ทันที แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งหาน้ำหนักแห้ง ($M_D$) จากนั้นคำนวณหาร้อยละปริมาณน้ำหรือความชื้นในดินตามสมการ (1) ข้างต้น ค่าที่ได้คือปริมาณน้ำเริ่มต้นที่ทำให้ดินมีความเหนียว

## 2.5 การวัดค่าการหดตัว (Shrinkage)

สำหรับการเตรียมแท่งดินตัวอย่างสำหรับทดสอบการหดตัวของดิน นำดินผงที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช มาผสมกับน้ำ แล้วนวดด้วยมือจนมีความเหนียวที่เหมาะสม จากนั้นนำไปรีดเป็นเส้นด้วยเครื่องรีดดินแบบใช้คันโยกที่ให้เส้นดินทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหน้าตัดเท่ากับ 1.2 เซนติเมตร ตัดให้ได้ความยาวของแต่ละแท่งเป็น 10.0 เซนติเมตร ขีดเส้นตรงยาว 8.0 เซนติเมตรบนผิวของแท่งดินตัวอย่างเพื่อใช้วัดการหดตัว ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ทดสอบการหดตัวโดยวัดความยาวที่เปลี่ยนไปของแท่งดินตัวอย่างหลังอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อคำนวณหาค่าการหดตัวเมื่อแห้ง (drying shrinkage) จากนั้น วัดค่าการหดตัวหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800°C และ 1000°C เทียบกับความยาวก่อนเผา เพื่อคำนวณหาค่าการหดตัวหลังเผา (firing shrinkage)

การหาค่าร้อยละของการหดตัวเมื่อแห้ง และการหดตัวหลังเผาใช้การคำนวณตามสูตรที่ (2) และ (3) ตามลำดับ

$$\textbf{การหดตัวเมื่อแห้ง (\%)} = \frac{L_W - L_D}{L_W} \times 100 \qquad \text{.....(2)}$$

โดยที่ $L_W$ คือ ความยาวเริ่มต้น

$L_D$ คือ ความยาวหลังอบแห้ง

$$\textbf{การหดตัวหลังเผา (\%)} = \frac{L_D - L_F}{L_D} \times 100 \qquad \text{.....(3)}$$

โดยที่ $L_D$ คือ ความยาวหลังอบแห้ง

$L_F$ คือ ความยาวหลังเผา

## 2.6 การวัดค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังเผา

ค่าการดูดซึมน้ำ สามารถบอกถึงความพรุนตัวของผลิตภัณฑ์หลังเผา การเตรียมชิ้นทดสอบใช้วิธีเดียวกันกับการเตรียมแท่งทดสอบเพื่อใช้วัดการหดตัวหลังเผา บันทึกน้ำหนักตัวอย่างหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C ($M_F$) จากนั้นนำแท่งทดสอบไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งไว้ข้ามคืนเพื่อให้ชิ้นตัวอย่างดูดซับน้ำเต็มที่ นำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำซับน้ำส่วนเกินออกโดยใช้ฟองน้ำที่ซุบน้ำหมาด ๆ แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักอิ่มตัว ($M_S$) คำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำจากสมการที่ 4

$$\textbf{ค่าการดูดซึมน้ำ (\%)} = \frac{M_S - M_F}{M_F} \times 100 \qquad \text{.....(4)}$$

## 2.7 **การทดสอบความแข็งแรง** (Strength)

การทดสอบค่าความแข็งแรงของเนื้อดิน ใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างแท่งดินเช่นเดียวกับการทดสอบการหดตัว สำหรับการหาค่าความแข็งแรงก่อนเผา นำแท่งดินอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทดสอบหาค่าความแข็งแรงแบบกดสามจุด ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรง (Universal Testing Machine – Instron USA) บันทึกค่าแรงกดที่ทำให้ชิ้นทดสอบหักพอดี สำหรับการหาค่าความแข็งแรงของดินหลังเผาที่ 800°C และ 1000°C ใช้วิธีทดสอบเดียวกัน จากนั้นคำนวณค่าความแข็งแรงของชิ้นทดสอบ จากสมการที่ 5 แต่ละตัวอย่างทำการทดสอบอย่างน้อย 5 ซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย

$$\text{Strength} = \frac{8LD}{\pi d^3} \qquad \text{(มีหน่วยเป็น kg/cm}^2\text{)} \qquad \text{.....(5)}$$

โดยที่ *L* คือ แรงกดที่ทำให้ชิ้นทดสอบหัก (kg)

*D* คือ ระยะห่างของลิ่มที่รองรับชิ้นทดสอบ (cm)

*d* คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบทรงกระบอกกลม (cm)

จากนั้น ทำการตรวจสอบและบันทึกลักษณะทางจุลภาคของชิ้นทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงเพื่อให้ได้ข้อมูลลักษณะทางจุลภาคของอนุภาคดินและผลิตภัณฑ์ตัวอย่างประกอบการพิจารณา

# 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

## 3.1 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของดิน

**ตารางที่ 3.1** ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดินด้วยปริมาณกากค้างตะแกรงร่อน

| ตัวอย่างดิน | มวลของกากที่ค้างตะแกรง (%) | | | | รวมกากค้างตะแกรง (%) | มวลที่ผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | # 60 | # 120 | # 200 | # 325 | | |
| M1 | 8.6 | 9.3 | 7.1 | 7.3 | 32.3 | 67.7 |
| M2 | 10.1 | 7.5 | 6.1 | 5.0 | 28.7 | 71.2 |
| M3 | 0.7 | 3.6 | 10.2 | 5.7 | 20.3 | 79.7 |
| M4 | 0.7 | 4.2 | 10.8 | 6.5 | 22.2 | 77.8 |
| M5 | 5.9 | 6.3 | 9.0 | 11.0 | 32.1 | 67.9 |
| M6 | 7.6 | 4.0 | 7.5 | 4.9 | 24.0 | 76.0 |

**ตารางที่ 3.2** ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของตัวอย่างดินที่ผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช

| ตัวอย่างดิน | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ขนาดอนุภาคเฉลี่ย** (μm) | 8.7 | 6.6 | 4.7 | 6.3 | 12.7 | 6.5 |

จากตารางที่ 3.1 ตัวอย่างดินกลุ่มที่มีปริมาณกากค้างตะแกรงสูงสุดได้แก่ **M1** และ **M5** ซึ่งมีปริมาณกากค้างตะแกรงรวมร้อยละ 32.3 และ 32.1 ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ว่าตัวอย่างดิน M1 และ M5 น่าจะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่สูงกว่าตัวอย่างดินอื่นๆ และเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะอนุภาคดินส่วนที่ค้างตะแกรงของตัวอย่าง **M1** และ **M5** จะเห็นว่าตัวอย่างดิน **M1** มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยสูงกว่า เพราะมีสัดส่วนของอนุภาคขนาดใหญ่มากกว่ากรณีของตัวอย่างดิน **M5**

สอดคล้องกับข้อมูลจากตารางที่ 3.2 ที่แสดงว่า แม้แต่ดินส่วนที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 325 เมช ตัวอย่างดิน **M1** และ **M5** เป็นสองตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยสูงกว่าตัวอย่างดินอื่นๆ โดยเฉพาะดิน

M5 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่สูงกว่าตัวอย่างดินอื่นๆ อย่างชัดเจน คือ 12.7 ไมครอน จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าดินที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ มักจะมีค่าการหดตัวที่ต่ำกว่าดินที่มีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า

ตัวอย่างดินกลุ่มที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุดได้แก่ ดิน M3 และดิน M4 จากตารางที่ 3.1 ดิน M3 และดิน M4 มีปริมาณกากค้างตะแกรงรวมต่ำที่สุดในกลุ่ม เพียงร้อยละ 20.3 และ 22.2 ตามลำดับ และมีปริมาณร้อยละของกากค้างตะแกรงที่ใกล้เคียงกันมาก สอดคล้องกับคำบอกเล่าของช่างปั้นที่ระบุว่าทั้งดิน M3 และ M4 ได้มาจากแหล่งเดียวกัน การที่ดิน M3 และ M4 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยต่ำกว่าตัวอย่างดินอื่นๆ ดินทั้งสองมีแนวโน้มที่จะมีค่าการหดตัวสูงกว่าดินอื่นๆ เมื่อผ่านการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์และหากมีค่าการหดตัวสูงเกินไป ผลิตภัณฑ์นั้นมีโอกาสที่จะแตกร้าวได้มากกว่า

ส่วนตัวอย่างดินที่เหลือ M2 เป็นดินที่มีร้อยละของกากค้างตะแกรงรวมที่ค่อนข้างสูง และยังมีสัดส่วนปริมาณอนุภาคขนาดใหญ่ที่ค้างตะแกรงขนาด 60 เมช ถึงร้อยละ 10 ซึ่งสูงกว่าในตัวอย่างดินอื่นๆ ทั้งหมด จึงจัดว่าดิน M2 มีลักษณะค่อนไปทางกลุ่ม M1 และ M5 ซึ่งเป็นดินที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ที่น่าจะมีการหดตัวต่ำ ส่วนตัวอย่างดิน M6 มีปริมาณกากค้างตะแกรงรวมร้อยละ 24 และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่เล็ก ใกล้เคียงกับค่าอนุภาคเฉลี่ยของดิน M3 และดิน M4 จึงจัดเข้าเป็นกลุ่มเดียวกัน

ดังนั้น ในการประเมินคุณภาพดินอย่างง่ายวิธีหนึ่งที่มีความเป็นได้ คือการใช้ตะแกรงขนาด **325 เมช** เพียงขนาดเดียวเพื่อหา "ร้อยละของกากค้างตะแกรงขนาด 325 เมช" เป็นเกณฑ์สำหรับประเมินการหดตัวของตัวอย่างดินนั้นๆ โดยต้องมีการกำหนดช่วงของค่าปริมาณกากค้างตะแกรงที่เหมาะสม เช่นในเบื้องต้นอาจกำหนดไว้ว่า ดินควรมีค่ากากค้างตะแกรงรวมไม่เกิน**ร้อยละ** 25

## 3.2 องค์ประกอบทางเคมี

**ตารางที่** 3.3 ร้อยละโดยน้ำหนักของออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบในดินซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDXRF

| ตัวอย่างดิน | MgO | $Al_2O_3$ | $SiO_2$ | $K_2O$ | CaO | $TiO_2$ | $Mn_2O_3$ | $Fe_2O_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M1 | 1.35 | 20.06 | 68.81 | 3.16 | 0.78 | 0.91 | 0.19 | 4.65 |
| M2 | 0.71 | 21.25 | 70.07 | 1.90 | 0.27 | 0.88 | 0.11 | 4.75 |
| M3 | 1.25 | 21.74 | 69.25 | 2.21 | 0.32 | 1.10 | 0.00 | 4.07 |
| M4 | 1.10 | 20.83 | 70.29 | 2.13 | 0.31 | 1.10 | 0.03 | 4.14 |
| M5 | 1.28 | 20.19 | 69.13 | 3.94 | 0.69 | 0.87 | 0.13 | 3.61 |
| M6 | 1.12 | 21.62 | 66.08 | 2.20 | 0.31 | 1.04 | 0.04 | 7.54 |

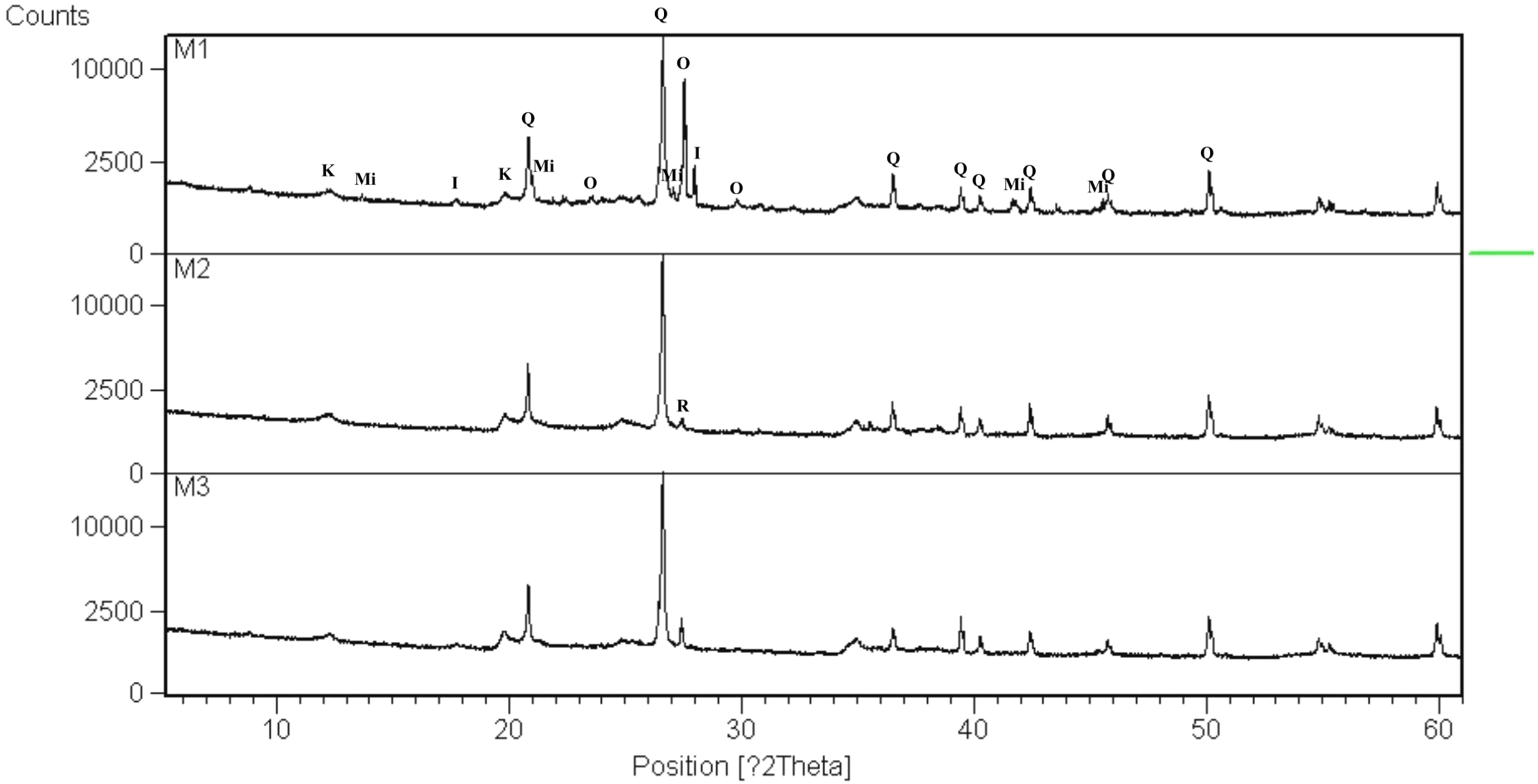
จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างดินทั้งหมด พบว่าตัวอย่างดินทุกตัวอย่างมีองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน มีปริมาณซิลิกา ($SiO_2$) เป็นองค์ประกอบหลักในช่วงร้อยละ 66-70 รองลงมาคืออะลูมินา ($Al_2O_3$) มีอยู่ร้อยละ 20-22 จากองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกันบ่งชี้ว่า ดินทุกตัวอย่างน่าจะมีสมบัติทางกายภาพ เช่นความแข็งแรงหลังเผาที่ใกล้เคียงกัน แต่ต้องพิจารณาผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ และขนาดอนุภาคเฉลี่ยประกอบด้วย นอกจากนี้ในดินทุกตัวอย่างมีเหล็กออกไซด์ $Fe_2O_3$ ในปริมาณสูงกว่าร้อยละ 3.6 ซึ่งจะมีผลให้เนื้อดินหลังเผามีสีออกส้มใกล้เคียงกัน ยกเว้นผลการวิเคราะห์จากตัวอย่างดิน **M6** ซึ่งพบปริมาณของเหล็กออกไซด์ที่สูงเกือบเป็นสองเท่าของตัวอย่างอื่น จากข้อมูลที่ผู้ประกอบการระบุว่า ดิน **M6** เตรียมได้จากการนำดิน **M3** และ **M4** มาบดผสมกันแล้วเติมทรายเข้าไปโดยมีสัดส่วนของทราย 15 ส่วนต่อดิน 100 ส่วนนั้น ไม่น่าจะทำให้ปริมาณเหล็กออกไซด์ในดิน **M6** สูงขึ้นกว่าในตัวอย่างดิน **M3** และ **M4** มากเป็น 2 เท่าได้ ดังนั้น ต้องทำการตรวจสอบหรือวิเคราะห์ซ้ำ เพื่อให้แน่ใจถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณเหล็กออกไซด์ในตัวอย่าง **M6** ต่อไป

## 3.3 องค์ประกอบทางแร่

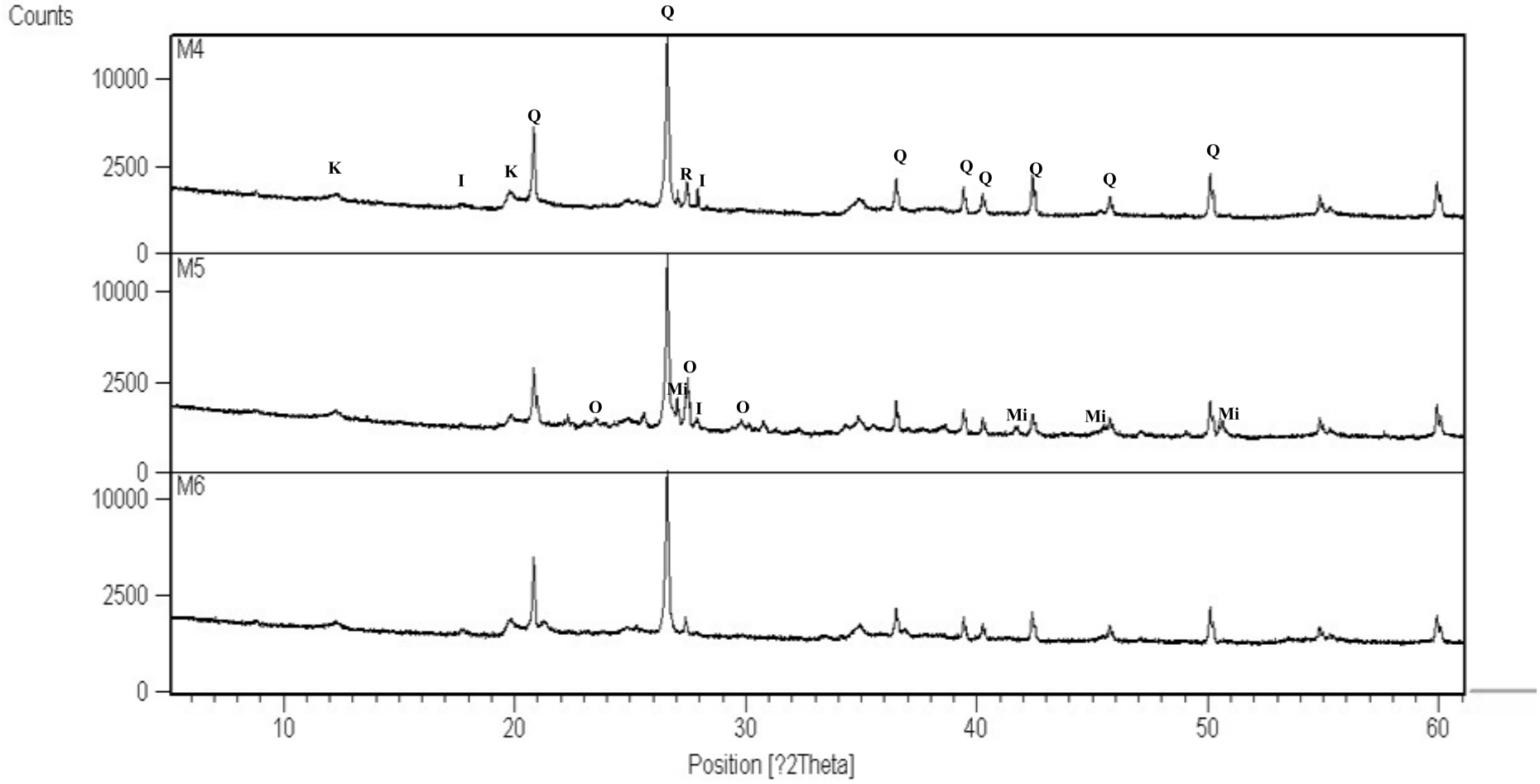
ผลการวิเคราะห์หาชนิดแร่ที่เป็นองค์ประกอบในดินทั้ง 6 ตัวอย่างด้วยเทคนิค XRD แสดงในภาพที่ 3.1- 3.2 โดยในภาพรวมพบแร่ควอทซ์ และเคโอลิไนต์ เป็นแร่หลักคล้ายคลึงกันในทุกๆ ตัวอย่างดิน นอกจากนี้ ในตัวอย่างดิน M1 และ M5 ยังประกอบด้วยแร่อื่นๆ เช่น ออโทเคลส(Orthoclase) ซึ่งมี characteristic peak ที่มุม 23.5 และ 29.8 องศา แร่ไมโครไคลน์ (Microcline) ซึ่งมี characteristic peak ที่ 27.1 องศา และแร่อิลไลต์ (Illite) เป็นต้น และในบางตัวอย่างยังพบแร่อื่นๆ เช่น รูไทล์ (Rutile) ในปริมาณเล็กน้อย

สำหรับสัญลักษณ์ที่ใช้แทนแร่ต่างๆ ดังที่ปรากฏ ในภาพที่ 3.1 มีดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| Q = Quartz ; | K = Kaolinite ; | O = Orthoclase ; |
| I = Illite ; | R = Rutile ; | Mi = Microcline |




**ภาพที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของดิน M1, M2 และ M3**

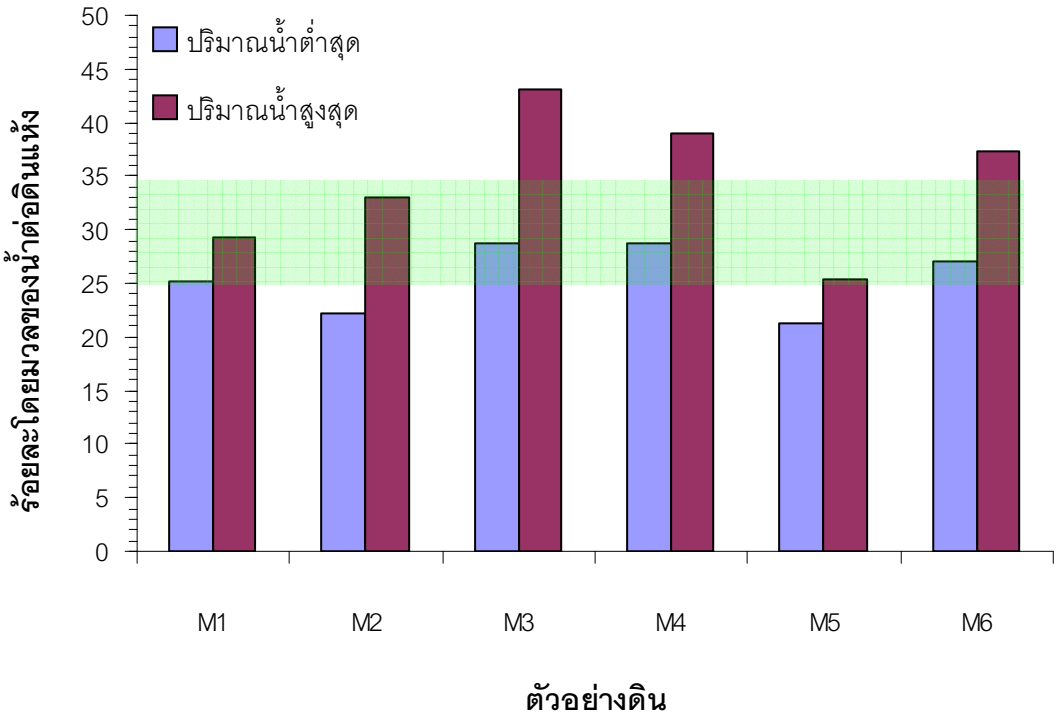



**ภาพที่** 3.2 **ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของดิน** M4, M5 **และ** M6

## 3.4 สภาพพลาสติก

**ตารางที่** 3.4 ปริมาณน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก

| ตัวอย่างดิน | ร้อยละของการใช้น้ำ | | |
|---|---|---|---|
| | สูงสุด | ต่ำสุด | ผลต่าง |
| M1 | 29.3 | 25.1 | 4.2 |
| M2 | 33.0 | 22.2 | 10.8 |
| M3 | 43.2 | 28.8 | 14.4 |
| M4 | 38.9 | 28.8 | 10.1 |
| M5 | 25.5 | 21.2 | 4.3 |
| M6 | 37.3 | 27.1 | 10.2 |




**ภาพที่** 3.3 ร้อยละของน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ทำให้ดินเกิดความเหนียว

จากตารางที่ 3.4 ตัวอย่างดินที่ให้ค่าผลต่างระหว่างร้อยละของปริมาณน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ทำให้เกิดความเหนียวน้อยที่สุด คือ ตัวอย่างดิน M1 และ M5 ซึ่งมีช่วงความต่างของการใช้น้ำเพียง**ร้อยละ** 4 โดยประมาณ ในขณะที่ตัวอย่างดินอื่นๆ คือ M2 M3 M4 และ M6 มีค่าผลต่างระหว่างร้อยละของปริมาณน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ทำให้เกิดความเหนียวตั้งแต่**ร้อยละ** 10 ขึ้นไป หากช่วงความแตกต่างยิ่งมาก เช่น ตัวอย่างดิน M2 M3 M4 และ M6 แสดงว่าในตัวอย่างดินเหล่านั้นอาจมีสัดส่วนของแร่เคโอลิไนต์ในสัดส่วนที่สูงกว่า ทำให้มีความเหนียวที่มากกว่า สามารถใช้ปั้นขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กและขนาดกลางได้ดี แต่มีแนวโน้มที่จะเกิดการหดตัวหลังอบและหลังเผาที่สูง ในทางตรงกันข้ามหากตัวอย่างดินมีช่วงของปริมาณน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่แคบเช่นในตัวอย่างดิน M1 และ M5 แสดงว่าในดินเหล่านี้ น่าจะมีแร่ประเภทที่ไม่ดูดซับน้ำเช่นควอทซ์หรือแร่อื่นๆ ที่ไม่ให้ความเหนียวในสัดส่วนที่สูงกว่า สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ในภาพที่ 3.1 และ 3.2 ซึ่งพบทั้ง ไมก้า อิลไลต์ และออร์โทเคลส ในตัวอย่างดิน M1 และ M5 ดินที่มีปริมาณแร่ที่ไม่ดูดซับน้ำในสัดส่วนที่สูงกว่าในดินอื่นๆ เป็นดินที่เหมาะสำหรับปั้นผลิตภัณฑ์ทรงสูงขนาดใหญ่เมื่อเผาแล้วมีโอกาสแตกหรือทรุดตัวน้อยกว่า และมีค่าการหดตัวเมื่อแห้งที่ต่ำกว่าดังจะเห็นได้จากผลการทดลองในหัวข้อถัดไป

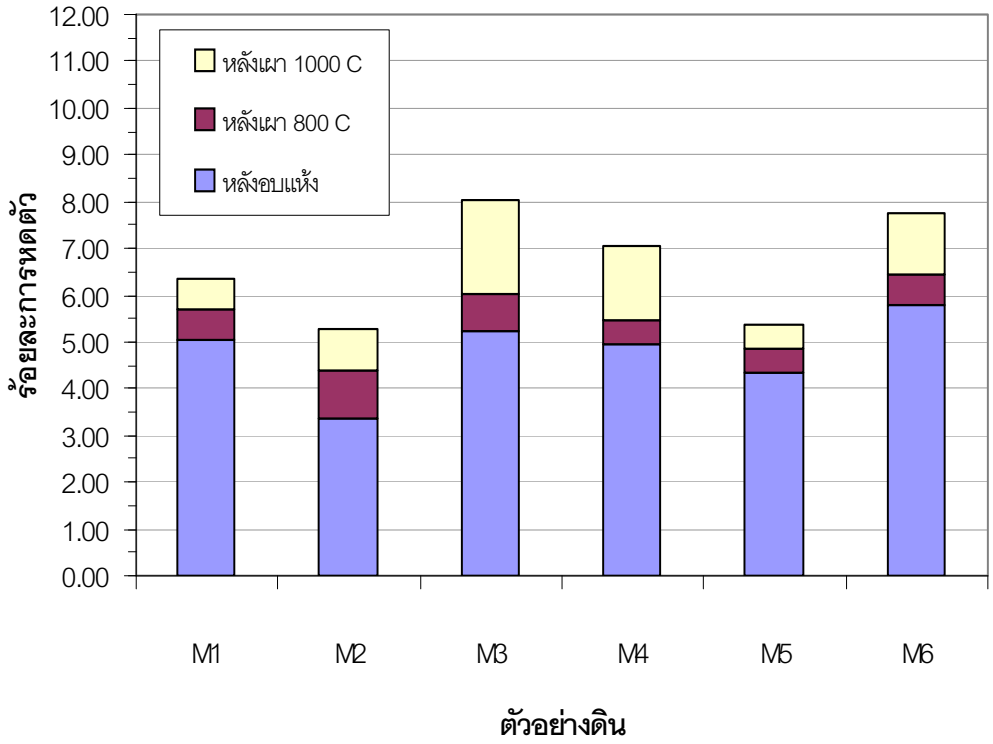
ดังนั้นสภาพพลาสติก หรือการหาค่าผลต่างระหว่างร้อยละของปริมาณน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ทำให้เกิดความเหนียวของดิน อาจเป็นวิธีอย่างง่ายในการประเมินคุณภาพดินอีกวิธีหนึ่ง โดยต้องมีการกำหนดช่วงของค่าปริมาณน้ำสูงสุดและต่ำสุด หรือค่าความต่างของปริมาณการใช้น้ำที่เหมาะสมต่อไป

## 3.5 การหดตัว

**ตารางที่** 3.5 การหดตัวของเนื้อดินหลังอบแห้งและหลังเผา

| **ตัวอย่างดิน** | **ร้อยละการหดตัว** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
| ***หลังอบแห้ง** 110°C | 5.10 | 3.34 | 5.25 | 4.94 | 4.31 | 5.78 |
| ****หลังเผาที่** 800°C | 0.66 | 1.03 | 0.79 | 0.53 | 0.52 | 0.66 |
| ****หลังเผาที่** 1000°C | 1.32 | 1.92 | 2.77 | 2.11 | 1.04 | 1.99 |
| **รวม** | 6.42 | 5.26 | 8.02 | 7.05 | 5.35 | 7.77 |

* เทียบกับความยาวชิ้นทดสอบก่อนอบแห้ง **เทียบกับความยาวชิ้นทดสอบหลังอบแห้ง




**ภาพที่** 3.4 ค่าร้อยละของการหดตัวของเนื้อดินหลังอบแห้ง หลังเผาที่ 800 และ 1000 °C

ตัวอย่างดินกลุ่มที่มีอัตราการหดตัวหลังอบแห้งที่สูงถึงร้อยละ 5 ขึ้นไป ได้แก่ ตัวอย่างดิน M1 M3 M4 และ M6 โดยตัวอย่างดิน M6 มีการหดตัวหลังอบแห้งสูงสุด คือ ร้อยละ 5.8 ซึ่งการใช้ดินที่มีการหดตัวหลังอบแห้งสูงในการปั้นงานขนาดใหญ่ มีแนวโน้มที่ผลิตภัณฑ์จะแตกร้าวก็มีสูงไปด้วย ดินที่มีการหดตัวสูงมักจะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่เล็ก และมักจะมีความเหนียวที่ดี (สอดคล้องกับผลการทดลองตอนที่ 1 และ 4) ส่วนตัวอย่างดิน M2 และ M5 มีค่าการหดตัวหลังอบแห้งต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 3.3 และ 4.3 ตามลำดับ น่าจะเหมาะสำหรับใช้ในการปั้นงานขนาดใหญ่มากกว่า

ตัวอย่างดินกลุ่มที่มีค่าการหดตัวสูงสุดหลังเผาที่ 1000°C คือ M3 ซึ่งหดตัวร้อยละ 2.8 จากความยาวหลังอบแห้ง สาเหตุของการหดตัวของดิน ไม่น่าจะเกิดขึ้นจากการหลอมตัวของเนื้อดิน เพราะจุดหลอมตัวของเฟลด์สปาร์ซึ่งเป็นแร่องค์ประกอบที่มีจุดหลอมเหลวต่ำที่สุด เกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 1100°C ขึ้นไป [7] ดังนั้น สาเหตุของการหดตัวของเนื้อดิน M3 น่าจะเป็นผลมาจากการเกิดจุดเชื่อมต่อ (necking) ระหว่างอนุภาคดินขนาดเล็ก [8] กล่าวคือเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1000°C อนุภาคขนาดเล็กที่เกิดขึ้นจากการที่เมตาเคโอลินไนต์เปลี่ยนแปลงเป็นสปิเนลและปลดปล่อยซิลิกาซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงเป็นกลไกให้เกิดจุดเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคได้เป็นอย่างดี

ในตัวอย่างดิน M3 น่าจะมีปริมาณอนุภาคแร่ดินขนาดเล็กจำพวกเคโอลิไนต์ในสัดส่วนที่สูงกว่าในดินอื่นๆ จึงเกิดการหดตัวที่มากกว่าเมื่อเทียบกับดินอื่นๆ

ส่วนตัวอย่างดินที่มีการหดตัวหลังเผาน้อยกว่าตัวอย่างดินอื่นๆ ได้แก่ ดิน M1 และ M5 ซึ่งมีค่าการหดตัวหลังเผาที่ 1000°C เพียงร้อยละ 1.3 และ 1.0 ตามลำดับ บ่งชี้ว่าในดิน M1 และดิน M5 น่าจะมีแร่เคโอลิไนต์เป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่ต่ำ และมีแร่อื่นๆ ที่มีความทนไฟสูงและมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ เช่น ควอทซ์ (ทราย) เป็นส่วนผสมในอัตราส่วนที่สูงกว่าตัวอย่างดินอื่น ๆ ซึ่งสมมุติฐานนี้สอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลการวิเคราะห์ปริมาณกากค้างตะแกรงร่อน ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ และการทดสอบสภาพพลาสติกในตอนที่ 3.1, 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

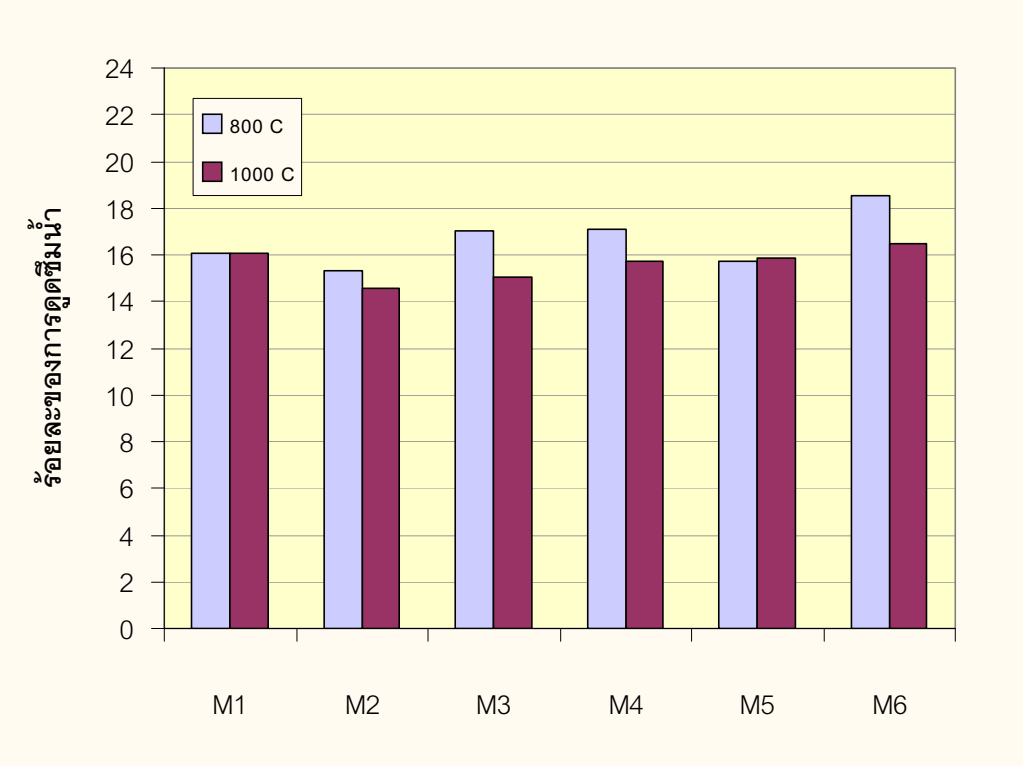
## 3.6 การดูดซึมน้ำ

จากภาพที่ 3.5 และตารางที่ 3.6 ตัวอย่างดิน M1 และ M5 มีค่าการดูดซึมน้ำหลังเผาไม่ลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาจาก 800°C เป็น 1000°C สำหรับดินที่มีการดูดซึมน้ำหลังเผาลดลงมากที่สุดเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาจาก 800°C เป็น 1000°C ได้แก่ตัวอย่างดิน M6 M3 และ M4 ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงของแร่เคโอลิไนต์เป็นเมตาเคโอลีไนต์เกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 600°C และการเปลี่ยนแปลงของแร่เมตาเคโอลีไนต์เป็นสปิเนลที่อุณหภูมิประมาณ 980°C [7] น่าจะเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ชิ้นทดสอบมีค่าการหดตัวและมีรูพรุนเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาจาก 800°C เป็น 1000°C ดังนั้นในตัวอย่างดินที่มีสัดส่วนของแร่เคโอลิไนต์มากกว่า เช่น M3 M4 และ M6 ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การหดตัวและ การดูดซึมน้ำหลังเผา(ความพรุนตัว) ได้มากกว่าในตัวอย่างดิน M1 และ M5

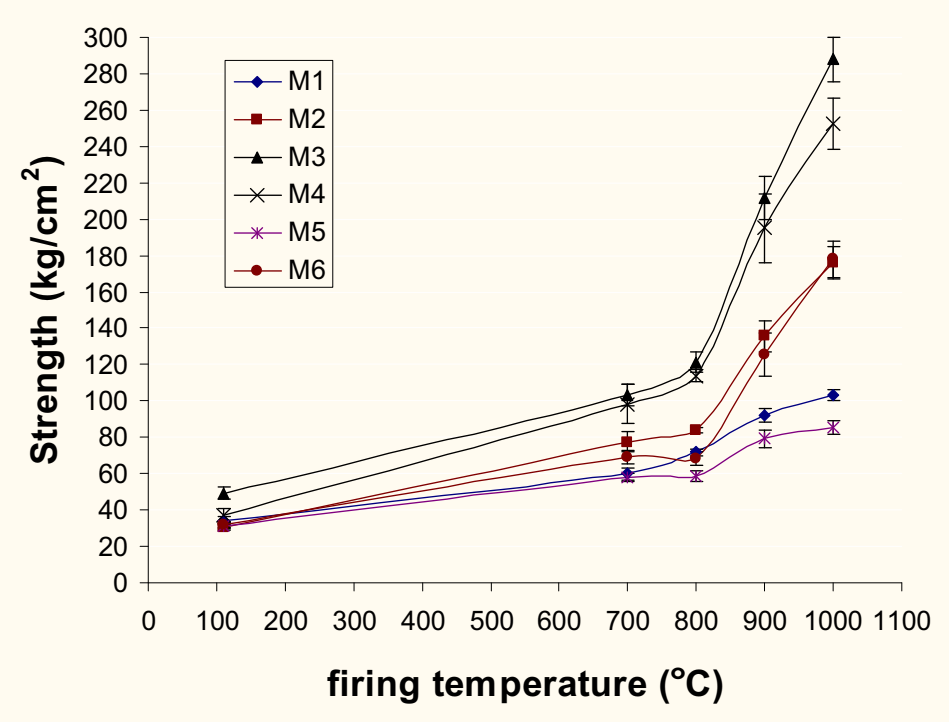
**ตารางที่ 3.6** ร้อยละของการดูดซึมน้ำของตัวอย่างดินหลังเผาที่ 800 และ 1000°C

| ตัวอย่างดิน | ค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำหลังเผา | |
|---|---|---|
| | 800°C | 1000°C |
| M1 | 16.05 | 16.08 |
| M2 | 15.32 | 14.55 |
| M3 | 17.06 | 15.06 |
| M4 | 17.12 | 15.71 |
| M5 | 15.69 | 15.89 |
| M6 | 18.56 | 16.47 |




**ภาพที่** 3.5 กราฟเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินที่ผ่านการเผาที่ 800 และ 1000°C

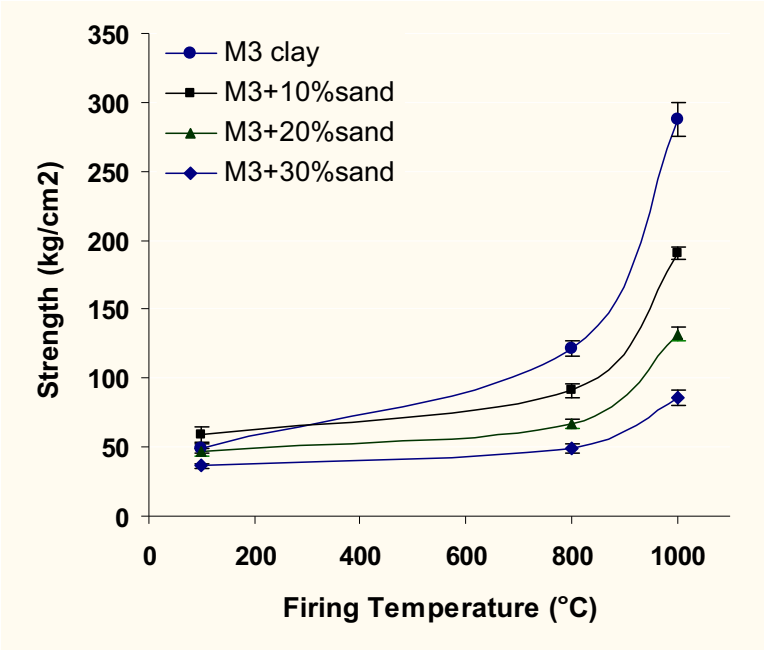
## 3.7 ความแข็งแรง



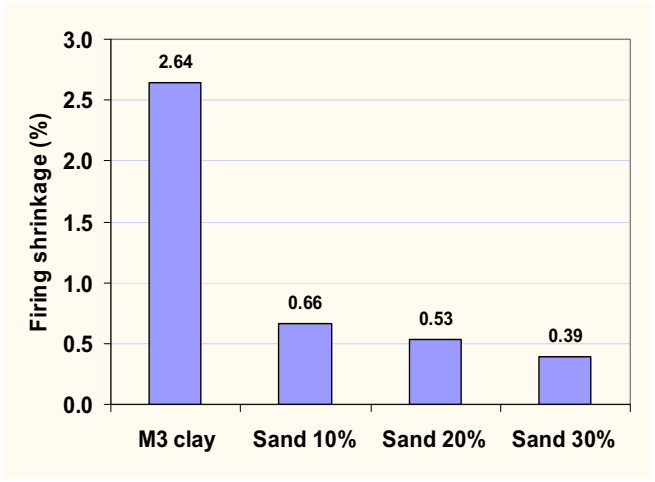

**ภาพที่** 3.6 การเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรงของเนื้อดินตัวอย่าง กับอุณหภูมิในการเผา

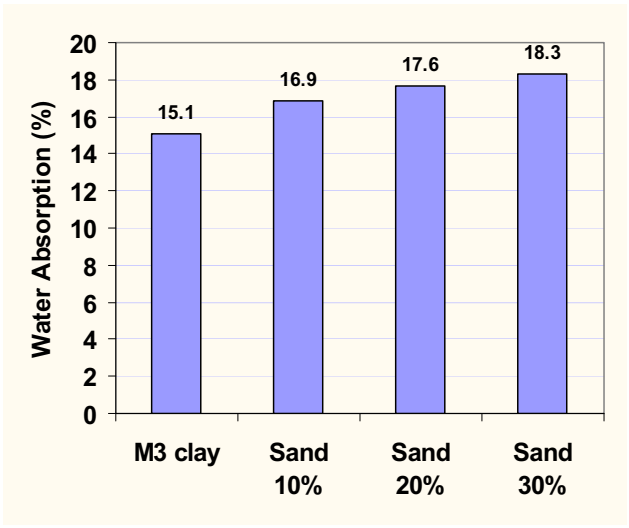
จากผลการทดลองในภาพที่ 3.6 ตัวอย่างดินที่มีค่าความแข็งแรงสูงสุดทั้งเมื่อหลังอบแห้งและเมื่อผ่านการเผาในช่วงอุณหภูมิ 700-1000°C คือ **M3 และ M4** ส่วนดินที่มีค่าความแข็งแรงต่ำสุดได้แก่ตัวอย่างดิน **M1 และ M5** ผลการวัดความแข็งแรงสอดคล้องเป็นอย่างดีกับค่าการหดตัวของชิ้นทดสอบซึ่งได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.5 ว่าน่าจะสัมพันธ์กับสัดส่วนปริมาณของแร่เคโอลิไนต์ที่มีมากในตัวอย่างดิน M3 และ M4 ที่อุณหภูมิประมาณ 1000 °C อนุภาคขนาดเล็กของแร่เคโอลิไนต์เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นเมตาเคโอลิไนต์ และสปิเนล+ซิลิกาตามลำดับ และอาจเป็นสาเหตุให้เกิดโครงสร้างระดับจุลภาคที่มีการเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคทำให้เกิดความแข็งแรงมากกว่าในดินอื่นที่มีปริมาณแร่เคโอลิไนต์ต่ำ

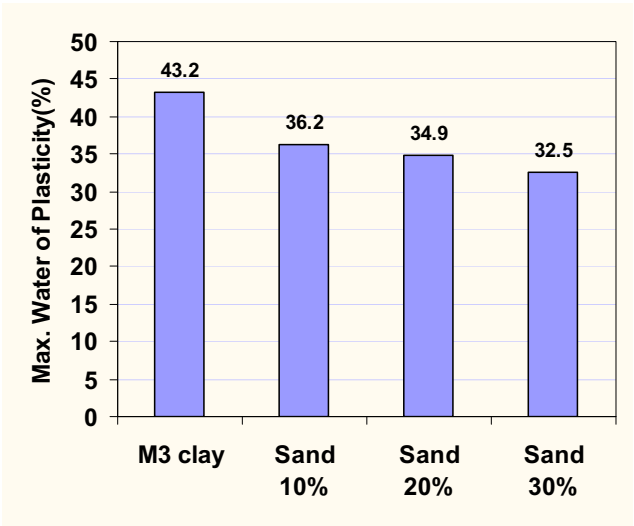
เพื่อเป็นการยืนยันสมมุติฐานข้างต้น ผู้วิจัยได้ทดลองเติมทรายละเอียดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช ผสมในดิน **M3** เป็นสัดส่วนตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึง 30 โดยน้ำหนัก โดยทำการนวดผสมแล้วรีดเป็นแท่งทรงกระบอก ทำการอบแห้ง แล้วเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 1000 °C เพื่อนำไปวัดความแข็งแรงของชิ้นทดสอบ พบว่า ค่าความแข็งแรงหลังเผาของเนื้อดิน M3 ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อสัดส่วนปริมาณของทรายในเนื้อดินเพิ่มขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งคือเมื่อสัดส่วนปริมาณของแร่เคโอลิไนต์ในเนื้อดินลดลง ดังแสดงในภาพที่ 3.7 นอกจากนี้ การเพิ่มทรายให้กับดิน M3 ยังมีผลให้เนื้อดินหลังเผาที่ 1000°C มีค่าการหดตัวลดลง และมีค่าความพรุนตัวเพิ่มขึ้น มีค่าปริมาณน้ำสูงสุดที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติกลดลง ดังแสดงในภาพที่ 3.8




**ภาพที่** 3.7 ผลของปริมาณทรายที่เติมในเนื้อดิน M3 ต่อค่าความแข็งแรงหลังเผา

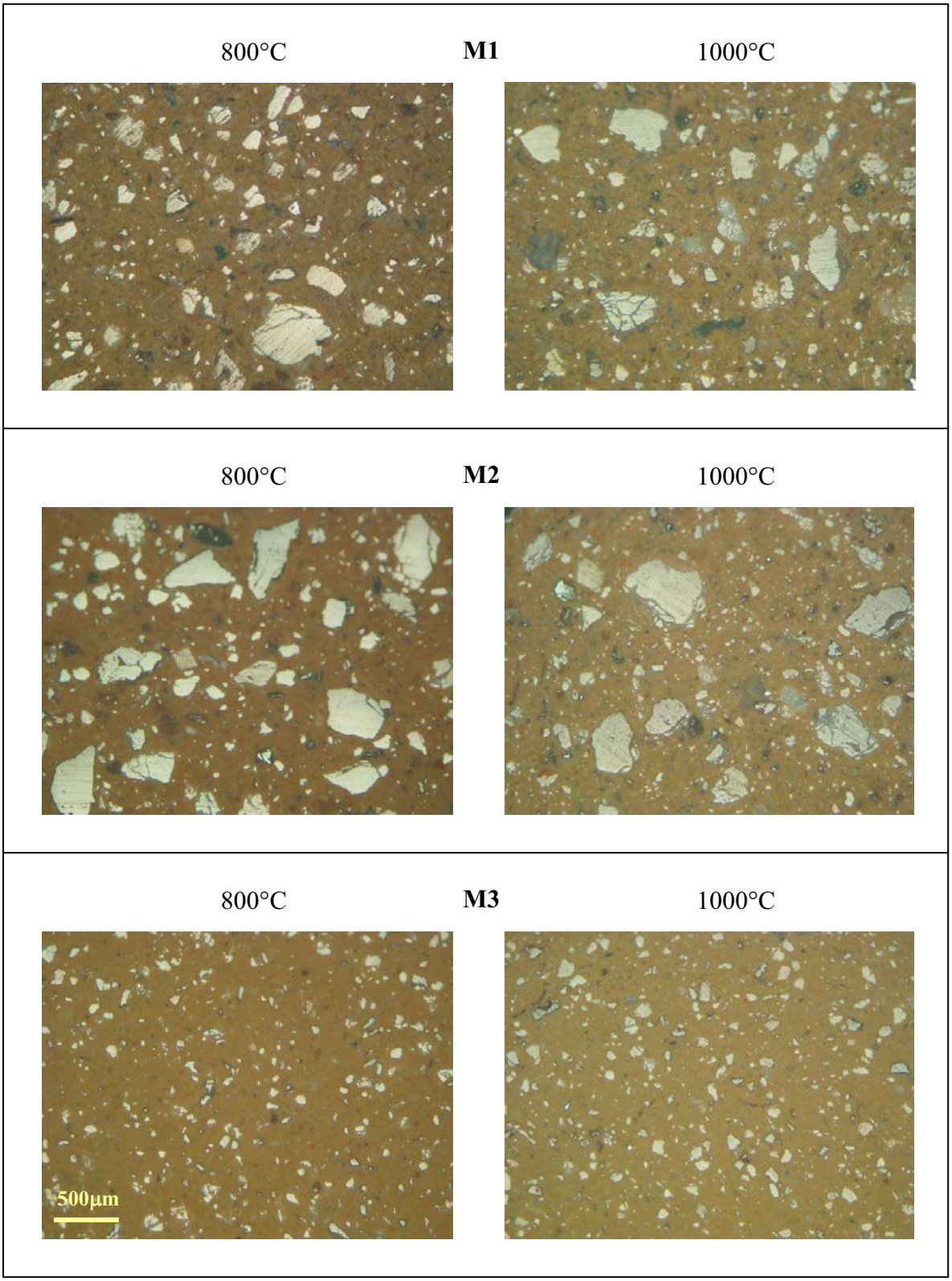


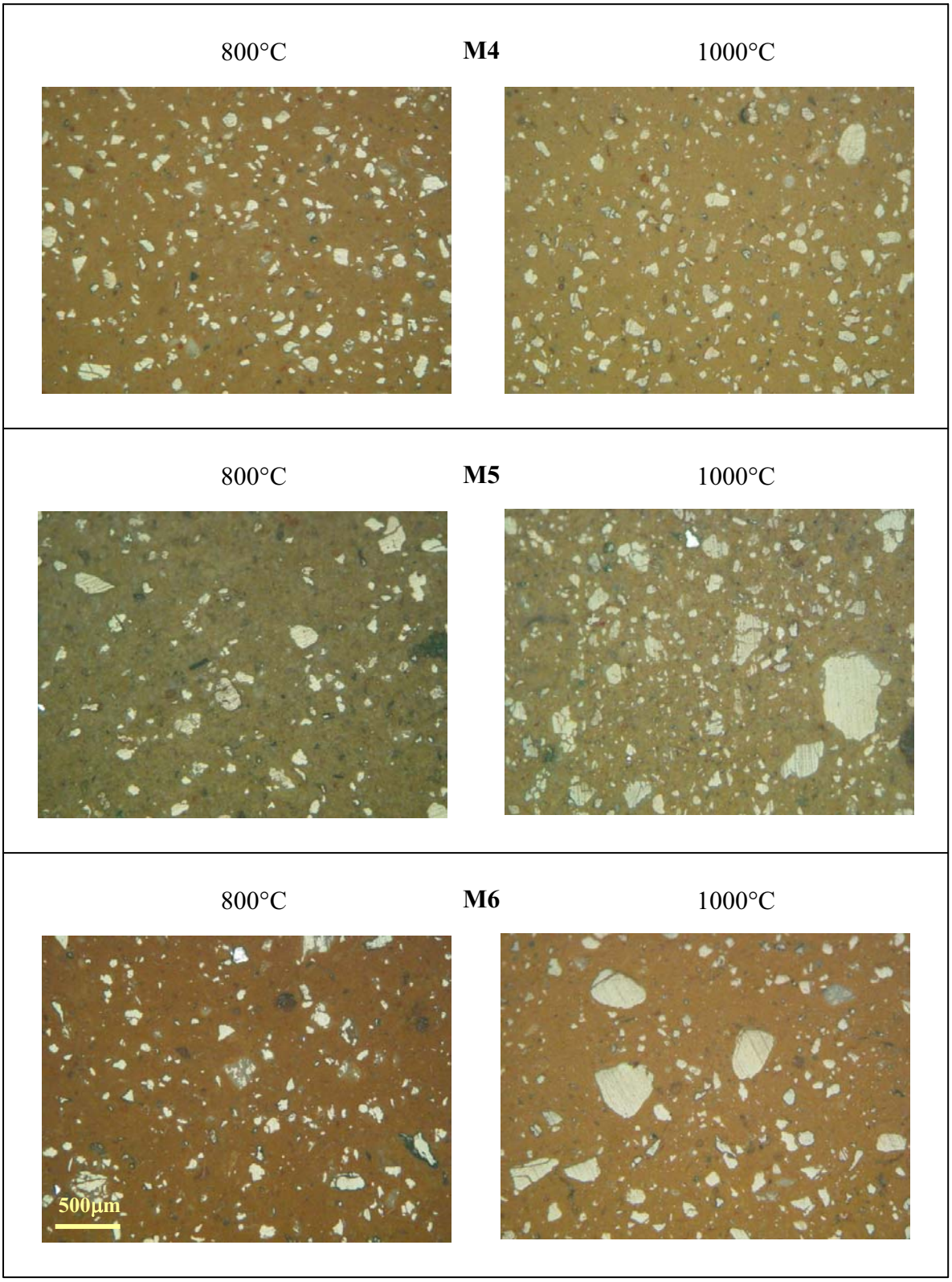




**ภาพที่** 3.8 ผลของการเติมทรายในเนื้อดิน M3 ที่มีต่อ (a) ค่าการหดตัว และ (b) ค่าความพรุนตัว (การดูดซึมน้ำ) หลังเผาที่ 1000°C, และ (c) ค่าปริมาณน้ำสูงสุดที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก ตามลำดับ

## 3.8 ลักษณะของเนื้อดินหลังเผา




**ภาพที่** 3.9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง แสดงลักษณะของเนื้อดิน M1-M3 หลังเผา




**ภาพที่** 3.10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบแสง แสดงลักษณะของเนื้อดิน M4-M6 หลังเผา

**M1**

**M2**

**M3**

**M4**

**M5**

**M6**

**ภาพที่** 3.11 ภาพถ่ายชิ้นงานก่อนเผาของเนื้อดิน M1-M6

**M1**

**M2**

**M3**

**M4**

**M5**

**M6**

**ภาพที่** 3.12 ภาพถ่ายชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ของเนื้อดิน M1-M6

# 4. สรุปผลการทดลอง

## 4.1 การจำแนกกลุ่มของดินตัวอย่าง

จากผลการทดลอง สามารถจัดกลุ่มตัวอย่างดินโดยใช้สมบัติทางกายภาพเป็นเกณฑ์ตัดสินออกได้เป็นสามกลุ่ม **กลุ่มแรก**ได้แก่ตัวอย่างดิน M1 และ M5 เป็นกลุ่มตัวอย่างดินที่มีความเหนียวต่ำ ซึ่งสังเกตได้จากปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมดินให้มีความเหนียวมีค่าเพียงร้อยละ 21-29 ซึ่งต่ำกว่าและเป็นช่วงที่แคบกว่าค่าการใช้น้ำของตัวอย่างดินอื่น ๆ ตัวอย่างดินในกลุ่มนี้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่สูงกว่า (8.7-12.7 ไมครอน) และปริมาณกากค้างตะแกรงรวม (ร้อยละ 32) ที่มากกว่าตัวอย่างดินอื่น ๆ นอกจากนี้เมื่อเผาชิ้นทดสอบที่เตรียมจากตัวอย่างดิน M1 และ M5 พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่มจาก 800°C เป็น 1000°C ตัวอย่างดินในกลุ่มนี้มีการหดตัวเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย (ประมาณร้อยละ 0.5) และการค่าดูดซึมน้ำก็เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเช่นกัน แสดงถึงความทนไฟที่ดีของตัวอย่างดินทั้งสองตัวอย่าง

**กลุ่มที่สอง** ได้แก่ตัวอย่างดิน M3 M4 และ M6 ซึ่งเป็นตัวอย่างดินที่มีสมบัติทางกายภาพต่างจากกลุ่มแรกมากที่สุด คือมี "ความเหนียว"มาก ต้องใช้น้ำในการเตรียมในมีสภาพพลาสติกมากถึงร้อยละ 27-43 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ต่ำ (4.7-6.5 ไมครอน) โดยเฉพาะ M3 และมีปริมาณกากค้างตะแกรงรวมต่ำที่สุด (ร้อยละ 20- 24) มีค่าการหดตัวหลังอบแห้งสูงกว่าร้อยละ 5 และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาจาก 800°C เป็น 1000°C มีการหดตัวเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 2 (จากร้อยละ 6 เป็นร้อยละ 8) มีค่าการดูดซึมน้ำลดลงประมาณร้อยละ 2 (จากร้อยละ 18 เป็นร้อยละ 16) แสดงถึงการที่อนุภาคดินในตัวอย่างดินดังกล่าวมีขนาดเล็ก หรือมีสัดส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กจำพวกแร่เคโอลิไนต์ในสัดส่วนที่มากกว่าดินอื่นๆ

**กลุ่มที่สาม** ได้แก่ตัวอย่างดิน M2 ซึ่งเป็นดินที่มีสมบัติทางกายภาพอยู่ระหว่างกลุ่มที่หนึ่งและสอง กล่าวคือ ต้องใช้น้ำในการเตรียมในมีสภาพพลาสติกปานกลาง ระหว่างร้อยละ 22-33 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยปานกลาง (6.6 ไมครอน) และมีปริมาณกากค้างตะแกรงรวมประมาณร้อยละ 29 ซึ่งอยู่ระหว่างกลุ่มที่ 1 และ 2 หลังอบแห้งดินตัวอย่างดิน M2 มีการหดตัวค่อนข้างต่ำเพียงร้อยละ 3.4 หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C ดิน M2 มีการหดตัวเพิ่มขึ้นจากเมื่อเผาที่ 800°C อีกประมาณร้อยละ 1-1.5 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ระหว่างตัวอย่างดินในสองกลุ่มแรกอีกเช่นกัน

## 4.2 สมบัติทางกายภาพ และเกณฑ์ในการประเมินคุณภาพดินปั้น

ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพทั้งก่อนและหลังเผาเช่น สภาพพลาสติก ค่าการหดตัว ค่าการดูดซึมน้ำ มีแนวโน้มที่สัมพันธ์กับขนาดอนุภาคของดินอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น การหา**ปริมาณกากค้างตะแกรงร่อน**อาจเป็นวิธีอย่างง่ายวิธีหนึ่งในการประเมินคุณภาพของเนื้อดินปั้นพื้นบ้านที่ให้ผลค่อนข้างเร็วและแม่นยำ ในเบื้องต้นอาจกำหนดไว้ว่า ดินที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ควรมีค่ากากค้างตะแกรงรวมในช่วง**ร้อยละ** 30 – 34

วิธีทดสอบสมบัติประเมินคุณภาพดินปั้นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถปฏิบัติได้ง่ายและรวดเร็ว คือ การทดสอบหา**ปริมาณน้ำสูงสุด**ที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก จากผลการทดลอง พบว่าช่วงที่เหมาะสมสำหรับดินปั้น คือ**ร้อยละ** 25 – 35 และดินนั้นๆ ควรมีค่าปริมาณน้ำต่ำสุดและปริมาณน้ำสูงสุดสำหรับการทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก**ต่างกันที่ประมาณร้อยละ** 4 – 5

นอกจากนี้ การวัด**ค่าการหดตัว** ทั้งการหดตัวหลังอบแห้งและการหดตัวหลังเผาที่ 1000°C อาจเป็นอีกวิธีหนึ่งในการประเมินคุณภาพเนื้อดินปั้น ในเบื้องต้นหากอ้างอิงจากค่าซึ่งวัดจากตัวอย่างดินที่ช่างปั้นยอมรับว่ามีคุณสมบัติที่เหมาะสม (เช่นตัวอย่างดิน M5) อาจกำหนดเกณฑ์ในการประเมิน คือ **ค่าการหดตัวรวม**ของดินหลังผ่านการอบแห้งและเผาที่ 1000°C ต้องมีค่าในช่วง**ร้อยละ** 5.5 – 6.5

อนึ่ง หากดินที่ต้องการนำมาใช้มีความเหนียวดี แต่มีการหดตัว หรือค่าปริมาณน้ำสำหรับทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติกที่สูงเกินเกณฑ์ที่กำหนด ก็อาจใช้วิธีการเติมทรายละเอียดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช ครั้งละประมาณ 5-10 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก เพื่อปรับลดค่าดังกล่าวให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

ส่วนกรณีของดินตัวอย่าง M2 ที่จากการสอบถามพบว่ามักจะพบปัญหาการกะเทาะของผิวจากแคลเซียมออกไซด์ และเนื้อดินมีการเปลี่ยนเป็นสีคล้ำขึ้นเมื่อผึ่งไว้ให้แห้งเป็นระยะเวลานาน แต่จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF พบว่าปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างดิน M2 ไม่ได้แตกต่างจากในตัวอย่างดินอื่น มีเฉพาะในตัวอย่างดิน M1 เท่านั้นที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบสูงกว่าในตัวอย่างดินอื่น ๆ ประมาณหนึ่งเท่าตัว เพื่อทดสอบการเกิดตำหนิประเภทนี้ ผู้วิจัยได้นำตัวอย่างดิน M2 มาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช เพื่อทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบจาก แล้วเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 1000°C และปล่อยไว้เป็นเวลาประมาณ 6 เดือน แต่ไม่พบตำหนิแบบกะเทาะตามที่ผู้ประกอบการได้ระบุ

จากเงื่อนไขและข้อจำกัดต่าง ๆ ตั้งแต่ในขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดินและความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่เกี่ยวกับปัญหาในการใช้งานของดินแต่ละแหล่งตั้งแต่เริ่มต้น เนื่องจากผู้ประกอบการไม่ได้มีการจัดเก็บดินจากแต่ละแหล่งให้แยกออกจากกันอย่างชัดเจน เพียงแต่กองไว้ในบริเวณใกล้กัน เมื่อมีการสั่งซื้อดินใหม่เข้ามาใช้ก็จะเทกองทับด้านบน ทำให้ในการจำแนกตัวอย่างดินจากแต่ละแหล่งที่ต้องอาศัยความชำนาญของผู้ประกอบการจึงมีโอกาสผิดพลาดได้ อีกทั้งปัญหาที่ตัวอย่างดินจากบางแหล่งมีเหลืออยู่น้อยเกินไป จึงอาจไม่ใช่ตัวแทนที่ดีได้ ด้วยเงื่อนไขเหล่านี้ อาจส่งผลให้เกณฑ์ในการประเมินที่กำหนดขึ้นมีความคลาดเคลื่อนได้ ในอนาคตจึงควรมีการขยายผลโดยทำการศึกษากับตัวอย่างดินที่ทราบปัญหาชัดเจนและมีปริมาณมาก และควรมีการใช้กระบวนการทางสถิติในการวางแผนและวิเคราะห์ข้อมูลอย่างเต็มรูปแบบเพื่อให้ได้เกณฑ์ประเมินที่มีความถูกต้องแม่นยำเพิ่มมากขึ้นต่อไป

## 4.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหา

จากผลการทดสอบดินแต่ละแหล่งโดยใช้เครื่องมืออย่างง่ายพบว่าขนาดอนุภาคองค์ประกอบทางแร่ องค์ประกอบทางเคมี มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของดินเช่น สภาพพลาสติก การหดตัว การดูดซึมน้ำหลังเผา ความแข็งแรง

ในกรณีดินที่มีค่าการหดตัวสูงและมักทำให้ผลิตภัณฑ์มีอัตราการแตกร้าวหลังการเผาสูง โดยเฉพาะกับผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ แนวทางแก้ไขควรจะพิจารณาเรื่องของขนาดอนุภาคดินและปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อให้เกิดสภาพพลาสติก ถ้าชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่มีการแตกร้าวหลังตากแห้งและทำการเผา ควรจะมีการผสมดินจากแหล่งอื่นที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าหรือเพิ่มปริมาณทรายเข้าไปในเนื้อดินปั้นเพื่อช่วยลดการหดตัวของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นสาเหตุของการแตกร้าวหลังตากแห้งหรือทำการเผา

จากข้อมูลของนักวิจัยที่ได้จากผู้ประกอบการพบว่าผู้ประกอบการไม่ได้มีการวางแผนจัดเก็บดินสำรองในปริมาณที่มากพอในการผลิตในระยะเวลา 6 เดือนหรือ 1 ปี จึงเป็นการยากที่จะควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นกลุ่มนักวิจัยมีความเห็นว่าผู้ประกอบการควรมีการร่วมกันสำรวจแหล่งดินและทดสอบสมบัติของดินแหล่งต่างๆ โดยใช้เครื่องมือซึ่งคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ที่เรียกว่า “ชุดทดสอบสมบัติของเนื้อดินปั้นอย่างง่าย” ทำการทดสอบและเก็บข้อมูล จากนั้นทำการจัดซื้อดินที่มีสมบัติที่ดีตามความต้องการของผู้ประกอบการสำรองในปริมาณที่มากพอในการผลิตในระยะเวลา 6 เดือนหรือ 1 ปี

# 5. การพัฒนาเครื่องมือทดสอบเนื้อดินปั้นอย่างง่าย

สำหรับการประเมินสมบัติของดินปั้นพื้นบ้านในภาคสนามซึ่งต้องปฏิบัติโดยกลุ่มชาวบ้านเองนั้น ต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการทดสอบ กล่าวคือ ต้องสามารถใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน แต่ให้ผลการทดสอบที่แม่นยำพอสมควร ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ที่เรียกว่า “ชุดทดสอบสมบัติของเนื้อดินปั้นอย่างง่าย” ขึ้นโดยสามารถใช้ในการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดิน หาปริมาณน้ำสูงสุดที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก ใช้เตรียมแท่งทดสอบสำหรับวัดค่าปริมาณน้ำต่ำสุดที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก การวัดค่าการหดตัว และการวัดความแข็งแรงของดินทั้งก่อนและหลังเผาได้ ดังต่อไปนี้

## 5.1 ชุดตะแกรงร่อนสำหรับหาปริมาณกากค้างตะแกรง

ใช้ในการหาร้อยละของกากค้างตะแกรง ตัวถาดทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ส่วนตะแกรงใช้เป็นสเตนเลส ยึดให้แน่นแล้วอุดบริเวณรอยต่อด้วยกาวซิลิโคน โดยหนึ่งชุดประกอบด้วยตะแกรงที่มีความละเอียด 4 ระดับ คือ จากระดับที่มีช่องขนาดใหญ่ที่สุด 60 เมช, 120 เมช, 200 เมช และละเอียดที่สุด คือ 325 เมช ดังแสดงในภาพที่ 5.1 ชุดตะแกรงร่อนนี้ เหมาะสำหรับใช้วิเคราะห์กากค้างตะแกรงโดยใช้ผงดินแห้งเริ่มต้นในปริมาณ 100 กรัม

## 5.2 แผ่นปูนปลาสเตอร์ สำหรับหาปริมาณน้ำสูงสุดที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก

การทดลองหาปริมาณน้ำสูงสุดที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติกนั้น ใช้แผ่นปูนปลาสเตอร์ที่หนาประมาณ เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 5.2 เพื่อช่วยในการดูดซับน้ำออกจากเนื้อดิน ในการเตรียมปูนปลาสเตอร์ใช้อัตราส่วนในการผสมระหว่างผงปูนและน้ำเป็น 100:70

## 5.3 เครื่องรีดดินสำหรับการขึ้นรูปแท่งทดสอบ

เครื่องรีดดินในภาพที่ 5.3 ใช้สำหรับเตรียมแท่งดินทรงกระบอกให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.0 เซนติเมตร ซึ่งช่วยให้ผู้ทดสอบสามารถเตรียมชิ้นทดสอบที่มีขนาดสม่ำเสมอ ในการใช้งานต้องพยายามอย่าให้เส้นดินที่รีดออกมาโค้งงอ อาจใช้แผ่นไม้ยาวๆ รองรับเส้นดินที่ถูกรีดออกมา

### 5.4 อุปกรณ์สำหรับอ่านค่าการหดตัวของเนื้อดิน

การวัดค่าการหดตัวอาจวัดด้วยเวอร์เนียแล้วคำนวณตามสมการที่ 2 และ 3 ในบทที่ 2 ก็ได้ หรือหากไม่ชำนาญก็สามารถใช้อุปกรณ์สำหรับอ่านค่าการหดตัวดังภาพที่ 5.4 แต่สิ่งที่สำคัญคือ ในการตัดเส้นดินที่ได้จากเครื่องรีดดินให้เป็นแท่งเพื่อวัดค่าการหดตัวนั้น ควรตัดโดยใช้เส้นลวดขนาดเล็กเพื่อให้ได้รอยตัดที่เรียบ ตรง และได้ฉาก ความยาวเริ่มต้นของแท่งดินที่ใช้ต้องเป็น 10.0 เซนติเมตร

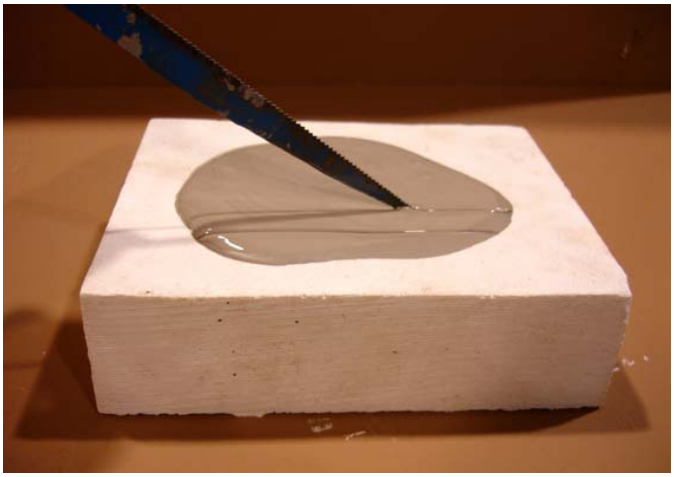
### 5.5 ชุดทดสอบความแข็งแรงของแท่งดินแบบกดสามจุด

การทดสอบความแข็งแรงของดินทั้งก่อนและหลังเผาด้วยชุดทดสอบความแข็งแรงอย่างง่าย ดังภาพที่ 5.5 สามารถใช้แท่งดินเดียวกันกับที่ใช้วัดค่าการหดตัวของดิน และในการทดลองแต่ละครั้งควรทำการทดสอบกับชิ้นทดสอบอย่างน้อย 5 ชิ้นเพื่อหาค่าเฉลี่ย ในการเพิ่มแรงกดควรหมุนอย่างช้าๆ แต่ต่อเนื่อง จนเมื่อชิ้นงานทดสอบแต่ละชิ้นหัก ผู้ทดสอบสามารถอ่านค่าน้ำหนักสูงสุดจากเข็มสีแดงของเครื่องชั่งซึ่งค้างอยู่ ณ ค่าน้ำหนักสูงสุด อ่านค่าให้ได้ละเอียดถึง 100 กรัม (0.1 กิโลกรัม) หลังจากได้ค่าเฉลี่ยจาก 5 ครั้งแล้ว เทียบหาค่าความแข็งแรงได้จากตารางเทียบค่าที่จัดเตรียมไว้ (ภาคผนวก 1)

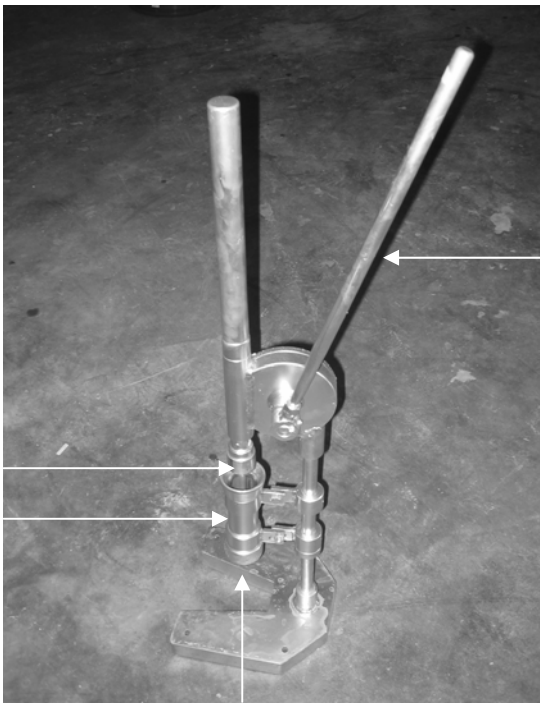
### 5.6 อุปกรณ์อื่นๆ

อุปกรณ์อื่นๆ ที่ผู้วิจัยได้จัดหาสำหรับการใช้ทดสอบเนื้อดินภาคสนาม ได้แก่ เตาเผาแบบใช้แกส ขนาด 1 แผ่น สำหรับการเผาชิ้นทดสอบ สามารถเผาได้สูงสุดถึง 1300°C (ภาพที่ 5.6) และเครื่องชั่งไฟฟ้าสำหรับการชั่งน้ำหนักดินเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นในเนื้อดิน สามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม (ภาพที่ 5.7)

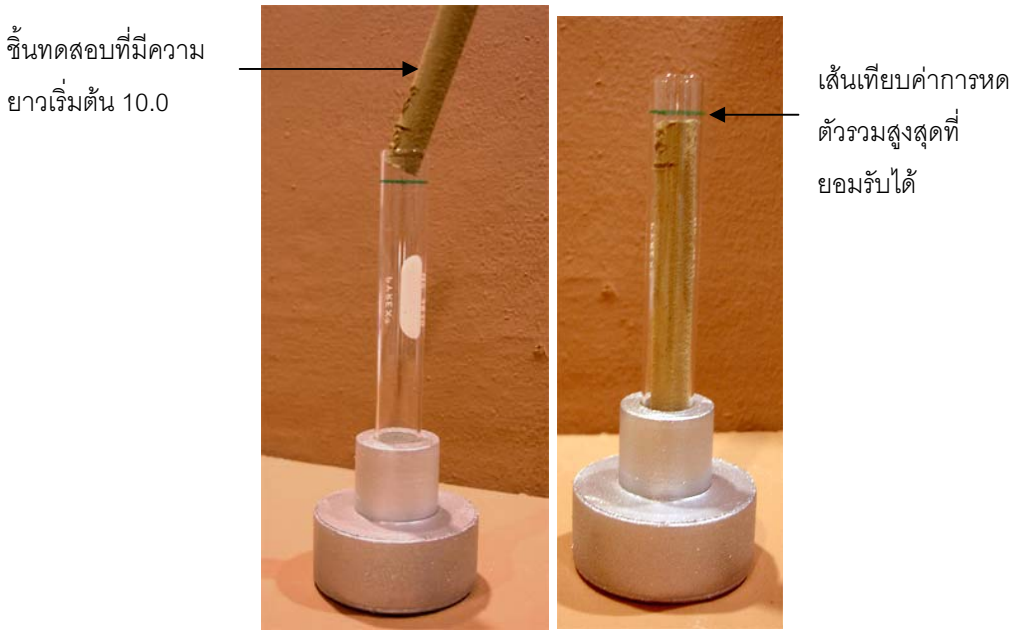
**ภาพที่** 5.1 ชุดตะแกรงร่อนสำหรับหาปริมาณกากค้างตะแกรง



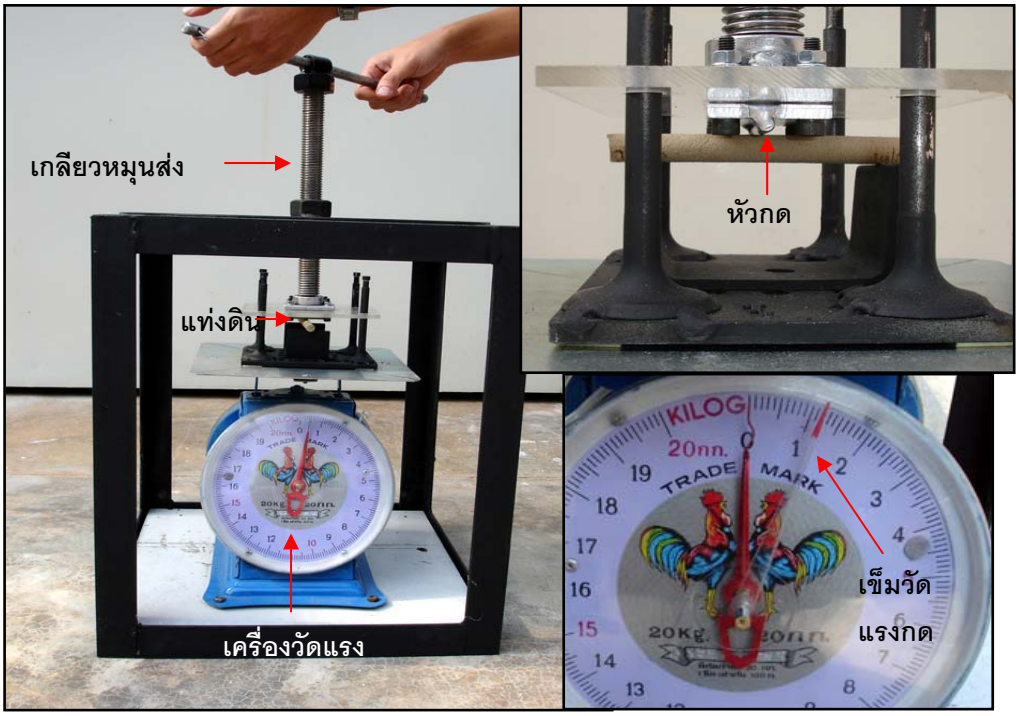
**ภาพที่** 5.2 แผ่นปูนปลาสเตอร์ สำหรับหาปริมาณน้ำสูงสุดที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก




**ภาพที่** 5.3 เครื่องรีดดิน ออกแบบและผลิตโดย อาจารย์สุรสิทธิ์ ปุสุรินทร์คำ วิทยาลัยอาชีวะเชียงราย




**ภาพที่** 5.4 อุปกรณ์สำหรับอ่านค่าการหดตัวของเนื้อดิน




**ภาพที่** 5.5 ชุดทดสอบความแข็งแรงของแท่งดินแบบกดสามจุด

**ภาพที่** 5.6 เตาเผาแบบใช้แก๊สสำหรับการเผาและการอบแห้งชิ้นทดสอบ

**ภาพที่** 5.7 เครื่องชั่งไฟฟ้าสำหรับการชั่งน้ำหนักดินเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้น

# เอกสารอ้างอิง

1. อรพิน สมมิตร. **การปรับปรุงองค์ประกอบของดินแดงบ้านสันจกปกจังหวัดพะเยาเพื่อพัฒนา คุณภาพเครื่องปั้นดินเผา**. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ. 2538

2. ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. **เนื้อดินเซรามิก** สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ กรุงเทพ พ.ศ. 2541

3. พิมพวัลคุ์ วัฒโนภาส และสุมาลี ลิขิตวนิชกุล. (ม.ป.ป.) **การวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงเนื้อดินปั้นราชบุรี**. ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กรุงเทพ

4. สุธี วัฒนศิริเวช, ดรุณี วัฒนศิริเวช และศรัณย์ โปษยะจินดา. **รายงานการวิจัยเรื่อง การสำรวจด้านการจัดการและตำหนิในผลิตภัณฑ์ของโรงงานเซรามิกในจังหวัดลำปางและเชียงใหม่** มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง พ.ศ. 2543

5. J. Dickerson (1974) อ้างถึงใน อายุวัฒน์ สว่างผล **วัตถุดิบที่ใช้แพร่หลายในงานเซรามิกส์** สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ กรุงเทพ พ.ศ. 2543

6. W. M. Carty and C. Lee, **Science of Whitewares**, p.89 –101, The American Ceramic Society, USA, 1996.

7. W.G. Lawrence, **Ceramic Science for Potter**, Chilton Book, USA, 1972.

8. M.N. Rahaman, **Ceramic Processing and Sintering 2nd ed.**, Marcel Dekker, Inc., USA, 2003.

# ภาคผนวก

# เอกสารแนบ 1
# ตารางเทียบค่าความแข็งแรงของชิ้นทดสอบ

## วิธีการใช้เครื่องวัดความแข็งแรง และการอ่านค่าความแข็งแรง

1. ปรับให้เข็มวัดแรงกดทั้งสองเข็มของเครื่องวัดความแข็งแรง อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์พอดี
2. วางแท่งทดสอบที่ต้องการหาค่าความแข็งแรงลงบนแท่นวางชิ้นทดสอบ ค่อยๆ หมุนแกนส่งแรงกดให้เลื่อนลงช้าจนหัวกดแตะที่ชิ้นทดสอบ
3. สังเกตการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเข็มวัดแรงกด หมุนแกนส่งแรงกดอย่างช้าๆ แต่ต่อเนื่องจนกระทั่งชิ้นทดสอบหัก อ่านค่าแรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบหักจากเข็มวัดแรงกดที่ค้างอยู่ให้ละเอียดถึงหนึ่งในสิบกิโลกรัม
4. ใช้เวอร์เนียวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งทดสอบ ณ ตำแหน่งที่แท่งทดสอบหัก
5. เทียบค่าความแข็งแรงจากตาราง ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ และค่าแรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบหัก ค่าความแข็งแรงที่ได้มีหน่วยเป็น $kg/cm^2$

| แรงกดสูงสุด (กิโลกรัม) | ค่าความแข็งแรง (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งทดสอบ (ซม.) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 |
| 0.1 | 0.6 | 1.0 | 1.4 | 1.9 | 2.5 | 3.2 |
| 0.2 | 1.3 | 1.9 | 2.7 | 3.7 | 5.0 | 6.4 |
| 0.3 | 1.9 | 2.9 | 4.1 | 5.6 | 7.4 | 9.6 |
| 0.4 | 2.6 | 3.8 | 5.4 | 7.4 | 9.9 | 12.9 |
| 0.5 | 3.2 | 4.8 | 6.8 | 9.3 | 12.4 | 16.1 |
| 0.6 | 3.8 | 5.7 | 8.1 | 11.2 | 14.9 | 19.3 |
| 0.7 | 4.5 | 6.7 | 9.5 | 13.0 | 17.3 | 22.5 |
| 0.8 | 5.1 | 7.6 | 10.8 | 14.9 | 19.8 | 25.7 |
| 0.9 | 5.7 | 8.6 | 12.2 | 16.7 | 22.3 | 28.9 |
| 1.0 | 6.4 | 9.5 | 13.6 | 18.6 | 24.8 | 32.1 |
| 1.1 | 7.0 | 10.5 | 14.9 | 20.5 | 27.2 | 35.4 |
| 1.2 | 7.7 | 11.4 | 16.3 | 22.3 | 29.7 | 38.6 |
| 1.3 | 8.3 | 12.4 | 17.6 | 24.2 | 32.2 | 41.8 |
| 1.4 | 8.9 | 13.3 | 19.0 | 26.0 | 34.7 | 45.0 |
| 1.5 | 9.6 | 14.3 | 20.3 | 27.9 | 37.1 | 48.2 |
| 1.6 | 10.2 | 15.2 | 21.7 | 29.8 | 39.6 | 51.4 |
| 1.7 | 10.8 | 16.2 | 23.0 | 31.6 | 42.1 | 54.6 |
| 1.8 | 11.5 | 17.1 | 24.4 | 33.5 | 44.6 | 57.8 |
| 1.9 | 12.1 | 18.1 | 25.8 | 35.3 | 47.0 | 61.1 |
| 2.0 | 12.8 | 19.0 | 27.1 | 37.2 | 49.5 | 64.3 |
| 2.1 | 13.4 | 20.0 | 28.5 | 39.1 | 52.0 | 67.5 |
| 2.2 | 14.0 | 20.9 | 29.8 | 40.9 | 54.5 | 70.7 |
| 2.3 | 14.7 | 21.9 | 31.2 | 42.8 | 56.9 | 73.9 |
| 2.4 | 15.3 | 22.9 | 32.5 | 44.6 | 59.4 | 77.1 |
| 2.5 | 15.9 | 23.8 | 33.9 | 46.5 | 61.9 | 80.3 |
| 2.6 | 16.6 | 24.8 | 35.3 | 48.4 | 64.4 | 83.6 |
| 2.7 | 17.2 | 25.7 | 36.6 | 50.2 | 66.8 | 86.8 |
| 2.8 | 17.9 | 26.7 | 38.0 | 52.1 | 69.3 | 90.0 |
| 2.9 | 18.5 | 27.6 | 39.3 | 53.9 | 71.8 | 93.2 |
| 3.0 | 19.1 | 28.6 | 40.7 | 55.8 | 74.3 | 96.4 |
| 3.1 | 19.8 | 29.5 | 42.0 | 57.7 | 76.7 | 99.6 |

| แรงกดสูงสุด (กิโลกรัม) | ค่าความแข็งแรง (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งทดสอบ (ซม.) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 |
| 3.2 | 20.4 | 30.5 | 43.4 | 59.5 | 79.2 | 102.8 |
| 3.3 | 21.1 | 31.4 | 44.7 | 61.4 | 81.7 | 106.1 |
| 3.4 | 21.7 | 32.4 | 46.1 | 63.2 | 84.2 | 109.3 |
| 3.5 | 22.3 | 33.3 | 47.5 | 65.1 | 86.6 | 112.5 |
| 3.6 | 23.0 | 34.3 | 48.8 | 67.0 | 89.1 | 115.7 |
| 3.7 | 23.6 | 35.2 | 50.2 | 68.8 | 91.6 | 118.9 |
| 3.8 | 24.2 | 36.2 | 51.5 | 70.7 | 94.1 | 122.1 |
| 3.9 | 24.9 | 37.1 | 52.9 | 72.5 | 96.5 | 125.3 |
| 4.0 | 25.5 | 38.1 | 54.2 | 74.4 | 99.0 | 128.6 |
| 4.1 | 26.2 | 39.0 | 55.6 | 76.3 | 101.5 | 131.8 |
| 4.2 | 26.8 | 40.0 | 56.9 | 78.1 | 104.0 | 135.0 |
| 4.3 | 27.4 | 40.9 | 58.3 | 80.0 | 106.4 | 138.2 |
| 4.4 | 28.1 | 41.9 | 59.7 | 81.8 | 108.9 | 141.4 |
| 4.5 | 28.7 | 42.9 | 61.0 | 83.7 | 111.4 | 144.6 |
| 4.6 | 29.3 | 43.8 | 62.4 | 85.6 | 113.9 | 147.8 |
| 4.7 | 30.0 | 44.8 | 63.7 | 87.4 | 116.3 | 151.1 |
| 4.8 | 30.6 | 45.7 | 65.1 | 89.3 | 118.8 | 154.3 |
| 4.9 | 31.3 | 46.7 | 66.4 | 91.1 | 121.3 | 157.5 |
| 5.0 | 31.9 | 47.6 | 67.8 | 93.0 | 123.8 | 160.7 |
| 5.1 | 32.5 | 48.6 | 69.1 | 94.9 | 126.3 | 163.9 |
| 5.2 | 33.2 | 49.5 | 70.5 | 96.7 | 128.7 | 167.1 |
| 5.3 | 33.8 | 50.5 | 71.9 | 98.6 | 131.2 | 170.3 |
| 5.4 | 34.4 | 51.4 | 73.2 | 100.4 | 133.7 | 173.5 |
| 5.5 | 35.1 | 52.4 | 74.6 | 102.3 | 136.2 | 176.8 |
| 5.6 | 35.7 | 53.3 | 75.9 | 104.2 | 138.6 | 180.0 |
| 5.7 | 36.4 | 54.3 | 77.3 | 106.0 | 141.1 | 183.2 |
| 5.8 | 37.0 | 55.2 | 78.6 | 107.9 | 143.6 | 186.4 |
| 5.9 | 37.6 | 56.2 | 80.0 | 109.7 | 146.1 | 189.6 |
| 6.0 | 38.3 | 57.1 | 81.4 | 111.6 | 148.5 | 192.8 |
| 6.1 | 38.9 | 58.1 | 82.7 | 113.5 | 151.0 | 196.0 |
| 6.2 | 39.6 | 59.0 | 84.1 | 115.3 | 153.5 | 199.3 |
| 6.3 | 40.2 | 60.0 | 85.4 | 117.2 | 156.0 | 202.5 |

| แรงกดสูงสุด (กิโลกรัม) | ค่าความแข็งแรง (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งทดสอบ (ซม.) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 |
| 6.4 | 40.8 | 60.9 | 86.8 | 119.0 | 158.4 | 205.7 |
| 6.5 | 41.5 | 61.9 | 88.1 | 120.9 | 160.9 | 208.9 |
| 6.6 | 42.1 | 62.8 | 89.5 | 122.8 | 163.4 | 212.1 |
| 6.7 | 42.7 | 63.8 | 90.8 | 124.6 | 165.9 | 215.3 |
| 6.8 | 43.4 | 64.8 | 92.2 | 126.5 | 168.3 | 218.5 |
| 6.9 | 44.0 | 65.7 | 93.6 | 128.3 | 170.8 | 221.8 |
| 7.0 | 44.7 | 66.7 | 94.9 | 130.2 | 173.3 | 225.0 |
| 7.1 | 45.3 | 67.6 | 96.3 | 132.1 | 175.8 | 228.2 |
| 7.2 | 45.9 | 68.6 | 97.6 | 133.9 | 178.2 | 231.4 |
| 7.3 | 46.6 | 69.5 | 99.0 | 135.8 | 180.7 | 234.6 |
| 7.4 | 47.2 | 70.5 | 100.3 | 137.6 | 183.2 | 237.8 |
| 7.5 | 47.8 | 71.4 | 101.7 | 139.5 | 185.7 | 241.0 |
| 7.6 | 48.5 | 72.4 | 103.0 | 141.4 | 188.1 | 244.3 |
| 7.7 | 49.1 | 73.3 | 104.4 | 143.2 | 190.6 | 247.5 |
| 7.8 | 49.8 | 74.3 | 105.8 | 145.1 | 193.1 | 250.7 |
| 7.9 | 50.4 | 75.2 | 107.1 | 146.9 | 195.6 | 253.9 |
| 8.0 | 51.0 | 76.2 | 108.5 | 148.8 | 198.0 | 257.1 |
| 8.1 | 51.7 | 77.1 | 109.8 | 150.6 | 200.5 | 260.3 |
| 8.2 | 52.3 | 78.1 | 111.2 | 152.5 | 203.0 | 263.5 |
| 8.3 | 52.9 | 79.0 | 112.5 | 154.4 | 205.5 | 266.8 |
| 8.4 | 53.6 | 80.0 | 113.9 | 156.2 | 207.9 | 270.0 |
| 8.5 | 54.2 | 80.9 | 115.2 | 158.1 | 210.4 | 273.2 |
| 8.6 | 54.9 | 81.9 | 116.6 | 159.9 | 212.9 | 276.4 |
| 8.7 | 55.5 | 82.8 | 118.0 | 161.8 | 215.4 | 279.6 |
| 8.8 | 56.1 | 83.8 | 119.3 | 163.7 | 217.8 | 282.8 |
| 8.9 | 56.8 | 84.8 | 120.7 | 165.5 | 220.3 | 286.0 |
| 9.0 | 57.4 | 85.7 | 122.0 | 167.4 | 222.8 | 289.2 |
| 9.1 | 58.1 | 86.7 | 123.4 | 169.2 | 225.3 | 292.5 |
| 9.2 | 58.7 | 87.6 | 124.7 | 171.1 | 227.7 | 295.7 |
| 9.3 | 59.3 | 88.6 | 126.1 | 173.0 | 230.2 | 298.9 |
| 9.4 | 60.0 | 89.5 | 127.4 | 174.8 | 232.7 | 302.1 |
| 9.5 | 60.6 | 90.5 | 128.8 | 176.7 | 235.2 | 305.3 |

| แรงกดสูงสุด (กิโลกรัม) | ค่าความแข็งแรง (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งทดสอบ (ซม.) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 |
| 9.6 | 61.2 | 91.4 | 130.2 | 178.5 | 237.6 | 308.5 |
| 9.7 | 61.9 | 92.4 | 131.5 | 180.4 | 240.1 | 311.7 |
| 9.8 | 62.5 | 93.3 | 132.9 | 182.3 | 242.6 | 315.0 |
| 9.9 | 63.2 | 94.3 | 134.2 | 184.1 | 245.1 | 318.2 |
| **10.0** | 63.8 | 95.2 | 135.6 | 186.0 | 247.5 | 321.4 |
| 10.1 | 64.4 | 96.2 | 136.9 | 187.8 | 250.0 | 324.6 |
| 10.2 | 65.1 | 97.1 | 138.3 | 189.7 | 252.5 | 327.8 |
| 10.3 | 65.7 | 98.1 | 139.7 | 191.6 | 255.0 | 331.0 |
| 10.4 | 66.3 | 99.0 | 141.0 | 193.4 | 257.5 | 334.2 |
| 10.5 | 67.0 | 100.0 | 142.4 | 195.3 | 259.9 | 337.5 |
| 10.6 | 67.6 | 100.9 | 143.7 | 197.1 | 262.4 | 340.7 |
| 10.7 | 68.3 | 101.9 | 145.1 | 199.0 | 264.9 | 343.9 |
| 10.8 | 68.9 | 102.8 | 146.4 | 200.9 | 267.4 | 347.1 |
| 10.9 | 69.5 | 103.8 | 147.8 | 202.7 | 269.8 | 350.3 |
| **11.0** | 70.2 | 104.7 | 149.1 | 204.6 | 272.3 | 353.5 |
| 11.1 | 70.8 | 105.7 | 150.5 | 206.4 | 274.8 | 356.7 |
| 11.2 | 71.4 | 106.7 | 151.9 | 208.3 | 277.3 | 360.0 |
| 11.3 | 72.1 | 107.6 | 153.2 | 210.2 | 279.7 | 363.2 |
| 11.4 | 72.7 | 108.6 | 154.6 | 212.0 | 282.2 | 366.4 |
| 11.5 | 73.4 | 109.5 | 155.9 | 213.9 | 284.7 | 369.6 |
| 11.6 | 74.0 | 110.5 | 157.3 | 215.7 | 287.2 | 372.8 |
| 11.7 | 74.6 | 111.4 | 158.6 | 217.6 | 289.6 | 376.0 |
| 11.8 | 75.3 | 112.4 | 160.0 | 219.5 | 292.1 | 379.2 |
| 11.9 | 75.9 | 113.3 | 161.3 | 221.3 | 294.6 | 382.4 |
| **12.0** | 76.6 | 114.3 | 162.7 | 223.2 | 297.1 | 385.7 |
| 12.1 | 77.2 | 115.2 | 164.1 | 225.0 | 299.5 | 388.9 |
| 12.2 | 77.8 | 116.2 | 165.4 | 226.9 | 302.0 | 392.1 |
| 12.3 | 78.5 | 117.1 | 166.8 | 228.8 | 304.5 | 395.3 |
| 12.4 | 79.1 | 118.1 | 168.1 | 230.6 | 307.0 | 398.5 |
| 12.5 | 79.7 | 119.0 | 169.5 | 232.5 | 309.4 | 401.7 |
| 12.6 | 80.4 | 120.0 | 170.8 | 234.3 | 311.9 | 404.9 |
| 12.7 | 81.0 | 120.9 | 172.2 | 236.2 | 314.4 | 408.2 |

| แรงกดสูงสุด (กิโลกรัม) | ค่าความแข็งแรง (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งทดสอบ (ซม.) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 |
| 12.8 | 81.7 | 121.9 | 173.5 | 238.1 | 316.9 | 411.4 |
| 12.9 | 82.3 | 122.8 | 174.9 | 239.9 | 319.3 | 414.6 |
| **13.0** | 82.9 | 123.8 | 176.3 | 241.8 | 321.8 | 417.8 |
| 13.1 | 83.6 | 124.7 | 177.6 | 243.6 | 324.3 | 421.0 |
| 13.2 | 84.2 | 125.7 | 179.0 | 245.5 | 326.8 | 424.2 |
| 13.3 | 84.8 | 126.6 | 180.3 | 247.4 | 329.2 | 427.4 |
| 13.4 | 85.5 | 127.6 | 181.7 | 249.2 | 331.7 | 430.7 |
| 13.5 | 86.1 | 128.6 | 183.0 | 251.1 | 334.2 | 433.9 |
| 13.6 | 86.8 | 129.5 | 184.4 | 252.9 | 336.7 | 437.1 |
| 13.7 | 87.4 | 130.5 | 185.8 | 254.8 | 339.1 | 440.3 |
| 13.8 | 88.0 | 131.4 | 187.1 | 256.7 | 341.6 | 443.5 |
| 13.9 | 88.7 | 132.4 | 188.5 | 258.5 | 344.1 | 446.7 |
| **14.0** | 89.3 | 133.3 | 189.8 | 260.4 | 346.6 | 449.9 |
| 14.1 | 89.9 | 134.3 | 191.2 | 262.2 | 349.0 | 453.2 |
| 14.2 | 90.6 | 135.2 | 192.5 | 264.1 | 351.5 | 456.4 |
| 14.3 | 91.2 | 136.2 | 193.9 | 266.0 | 354.0 | 459.6 |
| 14.4 | 91.9 | 137.1 | 195.2 | 267.8 | 356.5 | 462.8 |
| 14.5 | 92.5 | 138.1 | 196.6 | 269.7 | 358.9 | 466.0 |
| 14.6 | 93.1 | 139.0 | 198.0 | 271.5 | 361.4 | 469.2 |
| 14.7 | 93.8 | 140.0 | 199.3 | 273.4 | 363.9 | 472.4 |
| 14.8 | 94.4 | 140.9 | 200.7 | 275.3 | 366.4 | 475.7 |
| 14.9 | 95.1 | 141.9 | 202.0 | 277.1 | 368.8 | 478.9 |
| **15.0** | 95.7 | 142.8 | 203.4 | 279.0 | 371.3 | 482.1 |
| 15.1 | 96.3 | 143.8 | 204.7 | 280.8 | 373.8 | 485.3 |
| 15.2 | 97.0 | 144.7 | 206.1 | 282.7 | 376.3 | 488.5 |
| 15.3 | 97.6 | 145.7 | 207.4 | 284.6 | 378.8 | 491.7 |
| 15.4 | 98.2 | 146.6 | 208.8 | 286.4 | 381.2 | 494.9 |
| 15.5 | 98.9 | 147.6 | 210.2 | 288.3 | 383.7 | 498.1 |
| 15.6 | 99.5 | 148.6 | 211.5 | 290.1 | 386.2 | 501.4 |
| 15.7 | 100.2 | 149.5 | 212.9 | 292.0 | 388.7 | 504.6 |
| 15.8 | 100.8 | 150.5 | 214.2 | 293.9 | 391.1 | 507.8 |
| 15.9 | 101.4 | 151.4 | 215.6 | 295.7 | 393.6 | 511.0 |

| แรงกดสูงสุด (กิโลกรัม) | ค่าความแข็งแรง (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งทดสอบ (ซม.) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 |
| **16.0** | 102.1 | 152.4 | 216.9 | 297.6 | 396.1 | 514.2 |
| 16.1 | 102.7 | 153.3 | 218.3 | 299.4 | 398.6 | 517.4 |
| 16.2 | 103.3 | 154.3 | 219.6 | 301.3 | 401.0 | 520.6 |
| 16.3 | 104.0 | 155.2 | 221.0 | 303.2 | 403.5 | 523.9 |
| 16.4 | 104.6 | 156.2 | 222.4 | 305.0 | 406.0 | 527.1 |
| 16.5 | 105.3 | 157.1 | 223.7 | 306.9 | 408.5 | 530.3 |
| 16.6 | 105.9 | 158.1 | 225.1 | 308.7 | 410.9 | 533.5 |
| 16.7 | 106.5 | 159.0 | 226.4 | 310.6 | 413.4 | 536.7 |
| 16.8 | 107.2 | 160.0 | 227.8 | 312.5 | 415.9 | 539.9 |
| 16.9 | 107.8 | 160.9 | 229.1 | 314.3 | 418.4 | 543.1 |
| **17.0** | 108.4 | 161.9 | 230.5 | 316.2 | 420.8 | 546.4 |
| 17.1 | 109.1 | 162.8 | 231.8 | 318.0 | 423.3 | 549.6 |
| 17.2 | 109.7 | 163.8 | 233.2 | 319.9 | 425.8 | 552.8 |
| 17.3 | 110.4 | 164.7 | 234.6 | 321.8 | 428.3 | 556.0 |
| 17.4 | 111.0 | 165.7 | 235.9 | 323.6 | 430.7 | 559.2 |
| 17.5 | 111.6 | 166.6 | 237.3 | 325.5 | 433.2 | 562.4 |
| 17.6 | 112.3 | 167.6 | 238.6 | 327.3 | 435.7 | 565.6 |
| 17.7 | 112.9 | 168.5 | 240.0 | 329.2 | 438.2 | 568.9 |
| 17.8 | 113.6 | 169.5 | 241.3 | 331.1 | 440.6 | 572.1 |
| 17.9 | 114.2 | 170.5 | 242.7 | 332.9 | 443.1 | 575.3 |
| **18.0** | 114.8 | 171.4 | 244.1 | 334.8 | 445.6 | 578.5 |
| 18.1 | 115.5 | 172.4 | 245.4 | 336.6 | 448.1 | 581.7 |
| 18.2 | 116.1 | 173.3 | 246.8 | 338.5 | 450.5 | 584.9 |
| 18.3 | 116.7 | 174.3 | 248.1 | 340.4 | 453.0 | 588.1 |
| 18.4 | 117.4 | 175.2 | 249.5 | 342.2 | 455.5 | 591.4 |
| 18.5 | 118.0 | 176.2 | 250.8 | 344.1 | 458.0 | 594.6 |
| 18.6 | 118.7 | 177.1 | 252.2 | 345.9 | 460.4 | 597.8 |
| 18.7 | 119.3 | 178.1 | 253.5 | 347.8 | 462.9 | 601.0 |
| 18.8 | 119.9 | 179.0 | 254.9 | 349.7 | 465.4 | 604.2 |
| 18.9 | 120.6 | 180.0 | 256.3 | 351.5 | 467.9 | 607.4 |
| **19.0** | 121.2 | 180.9 | 257.6 | 353.4 | 470.3 | 610.6 |
| 19.1 | 121.8 | 181.9 | 259.0 | 355.2 | 472.8 | 613.8 |

| แรงกดสูงสุด (กิโลกรัม) | ค่าความแข็งแรง (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งทดสอบ (ซม.) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 |
| 19.2 | 122.5 | 182.8 | 260.3 | 357.1 | 475.3 | 617.1 |
| 19.3 | 123.1 | 183.8 | 261.7 | 359.0 | 477.8 | 620.3 |
| 19.4 | 123.8 | 184.7 | 263.0 | 360.8 | 480.2 | 623.5 |
| 19.5 | 124.4 | 185.7 | 264.4 | 362.7 | 482.7 | 626.7 |
| 19.6 | 125.0 | 186.6 | 265.7 | 364.5 | 485.2 | 629.9 |
| 19.7 | 125.7 | 187.6 | 267.1 | 366.4 | 487.7 | 633.1 |
| 19.8 | 126.3 | 188.5 | 268.5 | 368.3 | 490.1 | 636.3 |
| 19.9 | 126.9 | 189.5 | 269.8 | 370.1 | 492.6 | 639.6 |
| 20.0 | 127.6 | 190.5 | 271.2 | 372.0 | 495.1 | 642.8 |

# ภาคผนวก

## บทความเผยแพร่

# การพัฒนาวิธีทดสอบอย่างง่าย สำหรับการตรวจสอบคุณภาพเนื้อดินปั้นพื้นบ้าน

**อภินนท์ นันทิยา[1] และ สุธี วัฒนศิริเวช[2]**

[1] ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[2] สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

**บทคัดย่อ**

ได้ศึกษาผลของลักษณะเฉพาะ (ขนาดอนุภาค องค์ประกอบทางแร่ องค์ประกอบทางเคมี) ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ (สภาพพลาสติก การหดตัว การดูดซึมน้ำหลังเผา ความแข็งแรง) ของเนื้อดินปั้น 6 ตัวอย่างที่ใช้ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาบ้านเหมืองกุง พบว่าดินทุกตัวอย่างมีแร่เคโอลิไนต์เป็นองค์ประกอบ แต่ในตัวอย่างดินกลุ่มที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยสูง (M1 และ M5) มีแร่ควอทซ์ ออร์โทเคลส และไมโครไคลน์ ในปริมาณที่มากกว่าดินกลุ่มที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยต่ำ (M3 M4 และ M6) ซึ่งมีผลให้ดินกลุ่มแรก มีการใช้น้ำที่น้อยกว่าสำหรับทำให้ดินเกิดสภาพพลาสติก (< ร้อยละ 30) มีค่าการหดตัวเมื่อแห้งและการหดตัวหลังเผาที่ 1000 °C ต่ำกว่า (ค่าการหดตัวรวม < ร้อยละ 6.5) มีค่าการดูดซึมน้ำเกือบคงที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาจาก 800°C เป็น 1000°C และมีค่าความแข็งแรงหลังเผาที่ต่ำกว่าของดินกลุ่มหลัง และจากผลการทดลอง ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐาน รวมทั้งได้พัฒนาชุดอุปกรณ์อย่างง่ายสำหรับใช้ประเมินสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินปั้นบ้านเหมืองกุง โดยใช้ผลการวิเคราะห์ปริมาณกากค้างตะแกรง การหาปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับทำให้ดินเกิดสภาพพลาสติก และการวัดค่าการหดตัวของดินหลังเผาของดินตัวอย่าง

**Abstract**

Inter-relationship between particle characteristic (e.g. particle size distribution, mineral content, chemical composition) and its physical properties (e.g. plasticity, shrinkage, water absorption, and strength) of six plastic clays used in production of Muang Kung earthenware were studied. Mineral analysis by XRD indicated that kaolinite was common in every clay samples. However, clay samples with greater average particle size (M1, M5) contained more non-plastic minerals such as quartz, orthoclase and microcline than those with lower average particle size (M3, M4 and M6). As a result, the former group of clays exhibited lower plasticity (water of plasticity < 30wt%), lower drying and firing shrinkage (<6.5%), no different in water absorption values between samples fired at 800°C and 1000°C, and lower strength comparing with the latter. Finally, clay evaluation methods as well as simple testing equipment based on sieve analysis, water of plasticity, and firing shrinkage were developed.

**บทนำ**

เครื่องปั้นดินเผาบ้านเหมืองกุงเริ่มต้นขึ้นเมื่อประมาณสองร้อยปีก่อน จากการทำภาชนะเครื่องปั้นดินเผาเพื่อใช้ในชีวิตประจำวันของชาว บ้าน เช่น หม้อดินใส่น้ำดื่ม เป็นต้น นอกจากให้ประโยชน์ใช้สอยแล้ว ยังมีคุณค่าทางศิลปะที่ประณีต งดงาม มีกรรมวิธีการผลิตที่เรียบง่าย ปัจจุบันมีลักษณะการผลิตเป็นอุตสาหกรรมครอบครัวขนาดเล็กภายในครอบครัวและเครือญาติ สำหรับกรรมวิธีในการผลิตแบบดั้งเดิม เริ่มต้นจากการขุดดินเหนียวริมแหล่งน้ำ (เหมือง) มาสับหรือทุบเป็นก้อนเล็ก ๆ แล้วผึ่งแดดให้แห้งก่อนนำไปตำให้ละเอียดเป็นผงด้วยครกกระเดื่อง (แต่ปัจจุบันนิยมใช้เครื่องโม่แบบไฟฟ้าเพราะสะดวกรวดเร็วกว่า) จากนั้น ร่อนดินที่บดย่อยด้วยตะแกรงร่อน นำผงที่ผ่านการร่อนผสมน้ำแล้วหมักทิ้งไว้ประมาณหนึ่งวันก่อนจะนำมานวดให้มีความเหนียวที่เหมาะสม แล้วนำมาปั้นเป็นผลิตภัณฑ์บนแป้นหมุน ผลิตภัณฑ์ที่ปั้นเสร็จ จะถูกทิ้งไว้ครึ่งวันเพื่อให้เนื้อดินเริ่มแห้งหมาดและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะถูกทาด้วยดินแดงผสมน้ำมันและขัดผิวให้เรียบเป็นมันด้วยมือโดยใช้ก้อนกรวดผิวมัน หลังจากนั้น ผึ่งลมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์แห้งสนิทแล้วจึงนำไปเผาในเตาแบบทางเดินลมร้อนขึ้นใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง อุณหภูมิภายในเตาประมาณ 800 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีแดงอมส้ม ผิวเรียบมัน เคาะมีเสียงดังกังวาน สามารถใช้เป็นภาชนะบรรจุน้ำได้ดีไม่มีการยุ่ยของเนื้อผลิตภัณฑ์แม้ผ่านไปหลายปี

จากการสัมภาษณ์ตัวแทนกลุ่มชาวบ้านเหมืองกุงทำให้ทราบว่า ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของหมู่บ้าน เช่น การถมที่เพื่อสร้างถนน สร้างที่อยู่อาศัยทำให้แหล่งดินคุณภาพดีที่เคยหาได้ง่ายในชุมชนเริ่มหมดลง จำเป็นต้องซื้อดินเหนียวที่ได้จากการขุดบ่อปลากลางทุ่งนาหรือเชิงเขาในหมู่บ้านอื่นมาใช้แทน ปัจจุบันวิธีการจัดหาดินคือ โรงงานแต่ละแห่งติดต่อหาซื้อเอง ทำให้หลายโรงงานต้องประสบปัญหาเดียวกัน คือ คุณสมบัติของดินที่ไม่แน่นอน ถึงแม้ว่าดินที่ซื้อมาจะมีความเหนียวสามารถใช้ปั้นขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ก็ตาม แต่มักจะพบปัญหาตามมาหลายประการดังนี้

**ปัญหาผลิตภัณฑ์แตกร้าว** ซึ่งพบทั้งก่อนและหลังเผา แต่มักจะพบบ่อยในผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ (สูงกว่า 50 เซนติเมตร) คาดว่า น่าจะเกิดจากการที่เนื้อดินมีค่าการหดตัวสูงมากเกินไป

**ปัญหาเรื่องสีของดิน** คือ ดินจะออกสีคล้ำมากขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ประมาณ 2-4 สัปดาห์ เพื่อรอให้แห้ง และเมื่อนำผลิตภัณฑ์นั้นไปเผา สีของผลิตภัณฑ์หลังเผาเป็นสีออกแดงคล้ำ ไม่ใช่สีแบบดั้งเดิมที่ลูกค้าต้องการ ปัญหานี้สันนิษฐานว่าน่าจะเกิดจากปริมาณของแร่เหล็กในเนื้อดินสูงมากเกินไป

**ปัญหาเนื้อผลิตภัณฑ์มีการกะเทาะ** ซึ่งพบเป็นบางจุด มีสาเหตุมาจากอนุภาคของปูนขาวที่ปะปนอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์หลังเผา เมื่อทิ้งไว้ระยะหนึ่ง เม็ดปูนก็จะดูดความชื้นและขยายตัวดันให้ผิวผลิตภัณฑ์แตกและหลุดออกไป

**ปัญหาดินทนไฟสูง** ดินจากแหล่งอื่นบางแหล่งเมื่อเผาด้วยเตาและวิธีการเผาแบบเดิม ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังไม่แข็งแรงเพียงพอ นั่นคือ เมื่อเคาะแล้วเสียงไม่กังวาน เมื่อนำไปใช้งานสักระยะหนึ่ง ผลิตภัณฑ์จะเริ่มยุ่ยและเกิดการหลุดร่อนออกไปเรื่อย ๆ อาจเป็นเพราะอนุภาคในเนื้อดินนั้นๆ ยังไม่เกิดการหลอมตัวเพราะมีปริมาณควอทซ์สูงเกินไป หรือในดินอาจมีตัวช่วยหลอมน้อยเกินไป ทำให้เนื้อดินยังไม่ประสานกันดี

การควบคุมและตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบนับเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญยิ่งในกระบวน การผลิตทั้งหมด เพราะหากมีปัญหาอันเกิดจากวัตถุดิบไม่มีคุณภาพหรือไม่ได้มาตรฐานแล้ว ก็มัก จะพบปัญหาตามมาในทุกๆ ขั้นตอนการผลิต และการแก้ไขมักจะทำได้ยาก มีอัตราการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ที่สูง ดังนั้น การให้ความสำคัญกับการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบให้เหมาะสมเป็นขั้นตอนแรก แม้ต้องอาศัยเวลา แรงงานและทรัพยากรบ้าง แต่ก็คือทางเลือกในการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

สิ่งที่กลุ่มผู้วิจัยและตัวแทนชุมชนบ้านเหมืองกุงเห็นตรงกัน คือ ต้องการพัฒนาวิธีการและอุปกรณ์อย่างง่ายในการตรวจสอบดินก่อนนำไปใช้ ว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมหรือไม่ โดยวิธีการและอุปกรณ์เหล่านี้จะต้องปฏิบัติได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว ไม่ต้องอาศัยความรู้ด้านการวิเคราะห์ที่ยุ่งยากเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานโดยกลุ่มชาวบ้าน แต่สามารถให้ผลการตรวจสอบที่แม่นยำพอสมควรภายในเวลาอันสั้น

**วัตถุประสงค์**

เพื่อให้ทราบว่าปัจจัยทางกายภาพของดินในข้อใดที่มีผลต่อสมบัติและการเกิดตำหนิประเภทต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาบ้านเหมืองกุง

เพื่อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานขั้นต่ำในการประเมินคุณภาพของเนื้อดินปั้นโดยอาศัยการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติกายภาพ

เพื่อพัฒนาวิธีการและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์สมบัติกายภาพ ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ให้ง่ายและเหมาะสมกับการใช้งานโดยกลุ่มชาวบ้านชุมชนบ้านเหมืองกุง

**วิธีการทดลอง**

กลุ่มผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างดินที่เคยมีการใช้งานจากโรงเก็บวัตถุดิบแห่งหนึ่งของผู้ประกอบการเซรามิกบ้านเหมืองกุง พร้อมสอบถามข้อมูลจากช่างปั้นเพื่อจำแนกดินที่ใช้งานได้ดีและดินที่มีปัญหา ได้ตัวอย่างดินรวมทั้งสิ้นจำนวน 6 ตัวอย่าง ตัวอย่างละประมาณ 20 โดยตัวอย่างดินทั้ง 6 ตัวอย่าง มีทั้งดินที่ใช้แล้วไม่ค่อยพบปัญหาการเกิดตำหนิ (M1, M5, M6) และดินที่เคยใช้แล้วมักจะทำให้เกิดตำหนิขึ้นกับผลิตภัณฑ์ (M2, M3 และ M4) ดินแต่ละตัวอย่างมีแหล่งที่มาและลักษณะเด่นดังนี้

**ดิน M1** เป็นดินที่ได้จากบริเวณทุ่งนาอำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ โดยขุดมาจากชั้นดินที่อยู่ลึกจากผิวดินประมาณ 50 เซนติเมตร เป็นดินสีเหลืองปนดำ ปั้นขึ้นรูปบนแป้นหมุนได้ดี และมักจะไม่พบการแตกร้าวในผลิตภัณฑ์ทั้งก่อนและหลังการเผา

**ดิน** M2 ชาวบ้านเรียกว่า ดินลูกรังภูเขา ได้มาจากบริเวณอำเภอสันป่าตองเช่นกัน มีสีออกเหลือง เมื่อปั้นเป็นผลิตภัณฑ์และทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลานาน ดินบริเวณผิวนอกของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนเป็นสีคล้ำ หลังการเผาสีที่ได้ก็จะคล้ำกว่าปกติและมักจะพบตำหนิที่เกิดจากปูนขาวดันตัวออกมา

**ดิน** M3 มีสีออกเหลือง เป็นดินที่มีการหดตัวสูงและมักทำให้ผลิตภัณฑ์มีอัตราการแตกร้าวหลังการเผาสูง โดยเฉพาะกับผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ เช่น แจกันที่ประมาณ 60 เซนติเมตร ขึ้นไป

**ดิน** M4 เป็นดินสีเทาภูเขา ได้จากแหล่งเดียวกันกับดิน M3 แต่จากความลึกที่ต่างกัน มีสมบัติและลักษณะที่ใกล้เคียงกับดิน M3 มีการหดตัวหลังเผาสูง

**ดิน** M5 เป็นดินเหนียวสีเทาดำ ขุดได้จากริมลำเหมืองในบริเวณบ้านเหมืองกุงลึกจากผิวดิน-ประมาณ 30 เซนติเมตร เป็นดินที่เคยใช้ในการปั้นผลิตภัณฑ์มาแต่โบราณแต่ในปัจจุบันเหลืออยู่ไม่มากนัก เชื่อกันว่าเป็นดินที่มีสมบัติเหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตงานปั้นตามกรรมวิธีดั้งเดิมของชาวบ้านเหมืองกุง

**ดิน** M6 เป็นดินผงเตรียมสำเร็จที่โรงงานหลายแห่งใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเตรียมโดยการนำดิน M3 และ M4 มาบดผสมกันแล้วเติมทรายเข้าไปโดยมีสัดส่วนของทราย 15 ส่วนต่อดิน 100 ส่วน

ตัวอย่างดินถูกนำมาตรวจสอบลักษณะ เฉพาะองค์ประกอบ สมบัติทางกายภาพ และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกาย ภาพต่างๆ เพื่อหาคำอธิบายถึงสาเหตุของการเกิดตำหนิที่เคยพบมาก่อน ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

**การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค**

ทำการบดย่อยเพื่อให้ดินจากแหล่งดินพื้นบ้านซึ่งมีขนาดของก้อนใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง ร่อนผงดินผ่านตะแกรงชนิดหยาบขนาด 35 เมช เพื่อแยกเอาเศษไม้ ก้อนกรวด หรือสิ่งปะปนอื่นๆ ที่มีขนาดใหญ่ออก เนื่องจากดินมีลักษณะที่ค่อนข้างหยาบ จึงได้ใช้เทคนิคการหาปริมาณกากค้างตะแกรงร่อนร่วมกับเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์ (Malvern รุ่น Mastersizer 2000) สำหรับการหาปริมาณกากค้างตะแกรง ทำการชั่งดินผง 100 กรัม ผสมน้ำ 200 ml เทผ่านชุดตะแกรงร่อนขนาด 60, 120, 200 และ 325 เมช ตามลำดับ ฉีดพ่นน้ำบนตะแกรงทีละชั้น เพื่อชะให้อนุภาคดินไหลผ่านไปยังชั้นต่อไปได้ จากนั้นนำกากที่ค้างตะแกรงแต่ละขนาดรวมทั้งอนุภาคที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 325 เมช ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักแห้งของอนุภาคดินจากตะแกรงแต่ละชั้น ส่วนอนุภาคที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 325 เมช ถูกนำไปวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเฉลี่ยด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์ในขั้นตอนต่อไป

**การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยรังสีเอกซ์**

นำผงดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช อัดเป็นเม็ดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร หนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร ใช้ความดันในการอัดขึ้นรูป 50 MPa นำชิ้นทดสอบไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ฟลูโอเรสเซน (X-ray fluorescent – XRF: Horiba รุ่น MESA-500W) ค่าความต่างศักย์ของหลอดรังสีเอกซ์ที่ 50 กิโลโวลต์ ใช้ระยะเวลาในการทดสอบด้วยรังสีเอกซ์ 5 นาที ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

**การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์**

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction - XRD) สามารถระบุถึงชนิดของแร่ที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อดินตัวอย่างได้ โดยผู้วิจัยให้ความสนใจเป็นพิเศษสำหรับแร่ควอทซ์ และเฟลด์สปาร์ ซึ่งปริมาณของแร่ทั้งสองอย่างนี้มีผลต่อการหลอมตัวของเนื้อดินในผลิตภัณฑ์ ในการทดสอบนำผงดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช บรรจุในแผ่นบรรจุตัวอย่างชนิดผง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction – XRD: Phillips รุ่น X-Pert Pro MPD)

**การทดสอบความเหนียวจากสภาพพลาสติก (Plasticity)**

แม้ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีในการทดสอบค่าความเหนียวของดินที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน แต่วิธีที่เป็นที่ยอมรับและใช้กันโดยทั่วไปเพื่อหาดัชนีชี้วัดระดับของ "ความเหนียว" (plasticity index) ของดินวิธีหนึ่ง คือ การวัดปริมาณน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ทำให้ดินเกิดความเหนียว โดยปริมาณน้ำสูงสุด คือร้อยละโดยมวลของน้ำ ณ จุดที่น้ำดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากของเหลวกลายเป็นเนื้อดินที่มีสภาพพลาสติก ส่วนปริมาณน้ำต่ำสุด คือ ร้อยละโดย

มวลของน้ำในเนื้อดินพลาสติก ณ จุดที่เนื้อดินเริ่มหมดสภาพพลาสติกหรือหมดความเหนียว โดยเนื้อดินเริ่มมีรอยฉีกหรือรานตัวเมื่อถูกแรงกระทำ ดินที่ "เหนียวมาก" มักจะต้องใช้น้ำผสมในปริมาณที่สูงกว่า จากค่าผลต่างของปริมาณน้ำสูงสุดและต่ำสุด สามารถใช้เปรียบเทียบความเหนียวของเนื้อดินปั้นแหล่งต่าง ๆ ได้ โดยดินที่มีผลต่างมากแสดงว่ามีช่วงในการใช้น้ำที่กว้าง น่าจะมีความเหนียวมาก เนื้อดินไม่ฉีกขาดง่ายเมื่อขึ้นรูปโดยการปั้น

**การวัดปริมาณน้ำสูงสุด** โดยการนำดินผสมกับน้ำขจัดประจุ (deionized water) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก ผสมและกวนให้เข้ากัน จากนั้นเทลงบนแผ่นปูนปลาสเตอร์เพื่อให้ปูนดูดน้ำออกจากดิน ใช้มีดกรีดซ้ำๆ บนดินที่เทไว้ จนถึงจุดที่รอยกรีดนั้นไม่กลับมาเชื่อมสมานกัน ลอกเอาดินส่วนนั้นไปชั่งน้ำหนักทันที บันทึกน้ำหนักก่อนอบแห้ง ($M_W$) นำชิ้นงานตัวอย่างนั้นๆ ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วบันทึกน้ำหนักแห้ง ($M_D$) จากนั้นคำนวณหาร้อยละของน้ำสูงสุดจากสูตร ดังนี้

$$\frac{M_W - M_D}{M_D} \times 100 \qquad \text{..... (1)}$$

**การวัดปริมาณน้ำต่ำสุด** นำดินผงที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช มาผสมกับน้ำปริมาณที่เหมาะสมจากการทดลองตอนที่แล้ว นวดด้วยมือจนได้เนื้อดินที่สม่ำเสมอ จากนั้นนำไปรีดเป็นเส้นด้วยเครื่องรีดดินแบบใช้คันโยกที่ให้เส้นดินทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหน้าตัดเท่ากับ 1.2 เซนติเมตร ตัดให้ได้ความยาวของแต่ละแท่งเป็น 4 เซนติเมตร จำนวน 5 แท่ง นำแท่งดินนั้นมาขดให้โค้งงอโดยให้ปลายทั้งสองของเส้นดินจรดกันเพื่อสังเกตการรานตัวของดิน ถ้าหากดินยังไม่มีรอยแตกรานแสดงว่า ในดินมีปริมาณน้ำอยู่พอเพียง นำดินทั้งหมดไปนวดต่อเพื่อลดปริมาณน้ำลงแล้วรีดเป็นเส้นเพื่อขดดูรอยราน ทำซ้ำจนแท่งดินที่ขดเกิดรอยรานซึ่งแสดงว่าดินนั้นมีปริมาณน้ำขั้นต่ำสุด ตัดดินในส่วนที่เหลือจากการรีดนำไปชั่งหาน้ำหนักก่อนอบแห้ง ($M_W$) ทันที แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งหาน้ำหนักแห้ง ($M_D$) จากนั้นคำนวณหาร้อยละปริมาณน้ำหรือความชื้นในดินตามสมการ (1) ข้างต้น ค่าที่ได้คือปริมาณน้ำเริ่มต้นที่ทำให้ดินมีความเหนียว

**การวัดค่าการหดตัว** (Shrinkage)

สำหรับการเตรียมแท่งดินตัวอย่างสำหรับทดสอบการหดตัวของดิน นำดินผงที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช มาผสมกับน้ำ แล้วนวดด้วยมือจนมีความเหนียวที่เหมาะสม จากนั้นนำไปรีดเป็นเส้นด้วยเครื่องรีดดินแบบใช้คันโยกที่ให้เส้นดินทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหน้าตัดเท่ากับ 1.2 เซนติเมตร ตัดให้ได้ความยาวของแต่ละแท่งเป็น 10.0 เซนติเมตร ขีดเส้นตรงยาว 8.0 เซนติเมตรบนผิวของแท่งดินตัวอย่างเพื่อใช้วัดการหดตัว ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ทดสอบการหดตัวโดยวัดความยาวที่เปลี่ยนไปของแท่งดินตัวอย่างหลังอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อคำนวณหาค่าการหดตัวเมื่อแห้ง (drying shrinkage) จากนั้น วัดค่าการหดตัวหลังการเผาที่อุณหภูมิ 800°C และ1000°C เทียบกับความยาวก่อนเผา เพื่อคำนวณหาค่าการหดตัวหลังเผา (firing shrinkage)

การหาค่าร้อยละของการหดตัวเมื่อแห้ง และการหดตัวหลังเผาใช้การคำนวณตามสูตรที่ (2) และ (3) ตามลำดับ

**การหดตัวเมื่อแห้ง** (%)

$$= \frac{L_W - L_D}{L_W} \times 100 \qquad \text{.....(2)}$$

โดยที่ $L_W$ คือ ความยาวเริ่มต้น

$L_D$ คือ ความยาวหลังอบแห้ง

**การหดตัวหลังเผา** (%)

$$= \frac{L_D - L_F}{L_D} \times 100 \qquad \text{.....(3)}$$

โดยที่ $L_D$ คือ ความยาวหลังอบแห้ง

$L_F$ คือ ความยาวหลังเผา

**การวัดค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินหลังเผา**

ค่าการดูดซึมน้ำ สามารถบอกถึงความพรุนตัวของผลิตภัณฑ์หลังเผา การเตรียมชิ้นทดสอบใช้วิธีเดียวกันกับการเตรียมแท่งทดสอบเพื่อใช้วัดการหดตัวหลังเผา บันทึกน้ำหนักตัวอย่างหลังเผาที่อุณหภูมิ 800°C ($M_F$) จากนั้นนำแท่งทดสอบไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยทิ้งไว้ข้ามคืนเพื่อให้ชิ้นตัวอย่างดูดซับน้ำเต็มที่ นำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำซับน้ำส่วนเกินออกโดยใช้ฟองน้ำที่ชุบน้ำหมาด ๆ แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักอิ่มตัว ($M_S$) คำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำจากสมการที่ 4

**ค่าการดูดซึมน้ำ** (%)

$$= \frac{M_S - M_F}{M_F} \times 100 \quad \text{.....(4)}$$

**การทดสอบความแข็งแรง** (Strength)

การทดสอบค่าความแข็งแรงของเนื้อดิน ใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างแท่งดินเช่นเดียวกับการทดสอบการหดตัว สำหรับการหาค่าความแข็งแรงก่อนเผา นำแท่งดินอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทดสอบหาค่าความแข็งแรงแบบกดสามจุดด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรง (Universal Testing Machine – Instron USA) บันทึกค่าแรงกดที่ทำให้ชิ้นทดสอบหักพอดี สำหรับการหาค่าความแข็งแรงของดินหลังเผาที่ 800°C และ 1000°C ใช้วิธีทดสอบเดียวกัน จากนั้นคำนวณค่าความแข็งแรงของชิ้นทดสอบ จากสมการที่ 5 แต่ละตัวอย่างทำการทดสอบอย่างน้อย 5 ซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย

$$\text{Strength} = \frac{8LD}{\pi d^3} \text{ (มีหน่วยเป็น kg/cm}^2\text{)} \quad \text{...(5)}$$

โดยที่ *L* คือ แรงกดที่ทำให้ชิ้นทดสอบหัก (kg)

*D* คือ ระยะห่างของลิ่มที่รองรับชิ้นทดสอบ (cm)

*d* คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบทรงกระบอกกลม (cm)

**ผลการทดลอง**

**การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของดิน**

**ตารางที่** 1 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดินด้วยปริมาณกากค้างตะแกรงร่อน

| ตัวอย่างดิน | มวลของกากที่ค้างตะแกรง (%) | | | | รวมกากค้างตะแกรง (%) | มวลที่ผ่านตะแกรง ขนาด 325 เมช (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | # 60 | # 120 | # 200 | # 325 | | |
| M1 | 8.6 | 9.3 | 7.1 | 7.3 | 32.3 | 67.7 |
| M2 | 10.1 | 7.5 | 6.1 | 5.0 | 28.7 | 71.2 |
| M3 | 0.7 | 3.6 | 10.2 | 5.7 | 20.3 | 79.7 |
| M4 | 0.7 | 4.2 | 10.8 | 6.5 | 22.2 | 77.8 |
| M5 | 5.9 | 6.3 | 9.0 | 11.0 | 32.1 | 67.9 |
| M6 | 7.6 | 4.0 | 7.5 | 4.9 | 24.0 | 76.0 |

**ตารางที่** 2 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของตัวอย่างดินที่ผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช

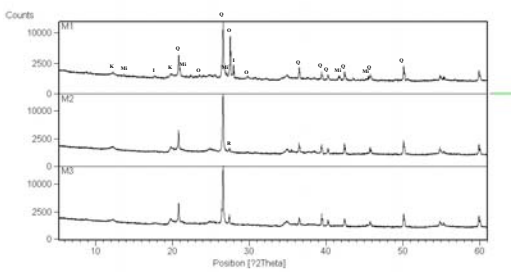
| ตัวอย่างดิน | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (μm) | 8.7 | 6.6 | 4.7 | 6.3 | 12.7 | 6.5 |

**องค์ประกอบทางเคมี**

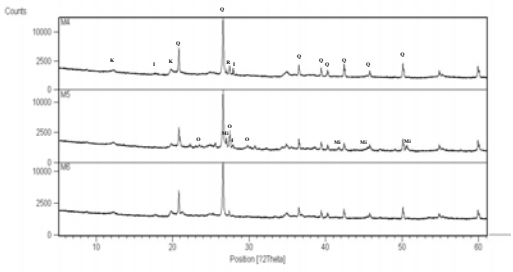
**ตารางที่** 3 ร้อยละโดยน้ำหนักของออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบในดินซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDXRF

| ตัวอย่างดิน | MgO | $Al_2O_3$ | $SiO_2$ | $K_2O$ | CaO | $TiO_2$ | $Mn_2O_3$ | $Fe_2O_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M1 | 1.35 | 20.06 | 68.81 | 3.16 | 0.78 | 0.91 | 0.19 | 4.65 |
| M2 | 0.71 | 21.25 | 70.07 | 1.90 | 0.27 | 0.88 | 0.11 | 4.75 |
| M3 | 1.25 | 21.74 | 69.25 | 2.21 | 0.32 | 1.10 | 0.00 | 4.07 |
| M4 | 1.10 | 20.83 | 70.29 | 2.13 | 0.31 | 1.10 | 0.03 | 4.14 |
| M5 | 1.28 | 20.19 | 69.13 | 3.94 | 0.69 | 0.87 | 0.13 | 3.61 |
| M6 | 1.12 | 21.62 | 66.08 | 2.20 | 0.31 | 1.04 | 0.04 | 7.54 |

**องค์ประกอบทางแร่**




**ภาพที่** 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของดิน M1, M2 และ M3




**ภาพที่** 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของดิน M4, M5 และ M6

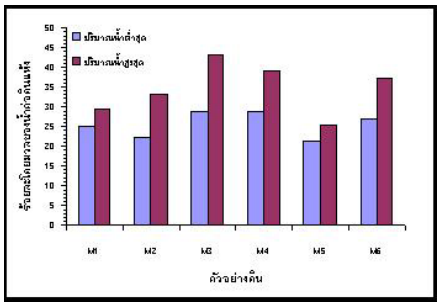
Q = Quartz K = Kaolinite O = Orthoclase

I = Illite R = Rutile Mi = Microcline

**สภาพพลาสติก**

**ตารางที่** 4 ปริมาณน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก

| ตัวอย่างดิน | ร้อยละของการใช้น้ำ | | |
|---|---|---|---|
| | สูงสุด | ต่ำสุด | ผลต่าง |
| M1 | 29.3 | 25.1 | 4.2 |
| M2 | 33.0 | 22.2 | 10.8 |
| M3 | 43.2 | 28.8 | 14.4 |
| M4 | 38.9 | 28.8 | 10.1 |
| M5 | 25.5 | 21.2 | 4.3 |
| M6 | 37.3 | 27.1 | 10.2 |




**ภาพที่** 3 ร้อยละของน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ทำให้ดินเกิดความเหนียว

**การหดตัว**

**ตารางที่** 5 การหดตัวของเนื้อดินหลังอบแห้งและหลังเผา

| ตัวอย่างดิน | ร้อยละการหดตัว | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
| ***หลังอบแห้ง 110°C** | 5.10 | 3.34 | 5.25 | 4.94 | 4.31 | 5.78 |
| ****หลังเผาที่ 800°C** | 0.66 | 1.03 | 0.79 | 0.53 | 0.52 | 0.66 |
| ****หลังเผาที่ 1000°C** | 1.32 | 1.92 | 2.77 | 2.11 | 1.04 | 1.99 |
| **รวม** | 6.42 | 5.26 | 8.02 | 7.05 | 5.35 | 7.77 |

* เทียบกับความยาวชิ้นทดสอบก่อนอบแห้ง

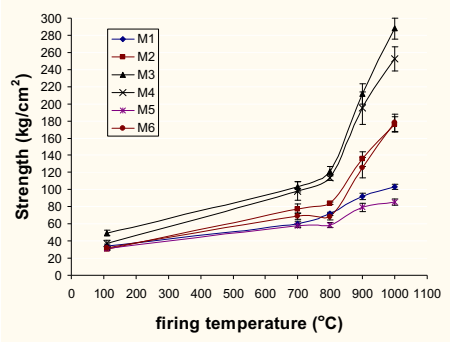
**เทียบกับความยาวชิ้นทดสอบหลังอบแห้ง

**การดูดซึมน้ำ**

**ตารางที่** 6 ร้อยละของการดูดซึมน้ำของตัวอย่างดินหลังเผาที่ 800 และ 1000°C

| ตัวอย่างดิน | ค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำหลังเผา | |
|---|---|---|
| | 800°C | 1000°C |
| M1 | 16.05 | 16.08 |
| M2 | 15.32 | 14.55 |
| M3 | 17.06 | 15.06 |
| M4 | 17.12 | 15.71 |
| M5 | 15.69 | 15.89 |
| M6 | 18.56 | 16.47 |

**ความแข็งแรง**




**ภาพที่** 4 การเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรงของเนื้อดินตัวอย่าง กับอุณหภูมิในการเผา

**สรุปผลการทดลอง**

**การจำแนกกลุ่มของดินตัวอย่าง**

จากผลการทดลอง สามารถจัดกลุ่มตัวอย่างดินโดยใช้สมบัติทางกายภาพเป็นเกณฑ์ตัดสินออกได้เป็นสามกลุ่ม **กลุ่มแรก**ได้แก่ตัวอย่างดิน M1 และ M5 เป็นกลุ่มตัวอย่างดินที่มี ความเหนียวต่ำ ซึ่งสังเกตได้จากปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมดินให้มีความเหนียวมีค่าเพียงร้อยละ 21-29 ซึ่งต่ำกว่าและเป็นช่วงที่แคบกว่าค่าการใช้น้ำของตัวอย่างดินอื่น ๆ ตัวอย่างดินในกลุ่มนี้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย

ที่สูงกว่า (8.7-12.7 ไมครอน) และปริมาณกากค้างตะแกรงรวม (ร้อยละ 32) ที่มากกว่าตัวอย่างดินอื่น ๆ นอกจากนี้เมื่อเผาชิ้นทดสอบที่เตรียมจากตัวอย่างดิน M1 และ M5 พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่มจาก 800°C เป็น 1000°C ตัวอย่างดินในกลุ่มนี้มีการหดตัวเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย (ประมาณร้อยละ 0.5) และการค่าดูดซึมน้ำก็เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเช่นกัน แสดงถึงความทนไฟที่ดีของตัวอย่างดินทั้งสองตัวอย่าง

**กลุ่มที่สอง** ได้แก่ตัวอย่างดิน M3 M4 และ M6 ซึ่งเป็นตัวอย่างดินที่มีสมบัติทางกายภาพต่างจากกลุ่มแรกมากที่สุด คือมี "ความเหนียว"มาก ต้องใช้น้ำในการเตรียมในมีสภาพพลาสติกมากถึงร้อยละ 27-43 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ต่ำ (4.7-6.5 ไมครอน) โดยเฉพาะ M3 และมีปริมาณกากค้างตะแกรงรวมต่ำที่สุด (ร้อยละ 20- 24) มีค่าการหดตัวหลังอบแห้งสูงกว่าร้อยละ 5 และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาจาก 800°C เป็น 1000°C มีการหดตัวเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 2 (จากร้อยละ 6 เป็นร้อยละ 8) มีค่าการดูดซึมน้ำลดลงประมาณร้อยละ 2 (จากร้อยละ 18 เป็นร้อยละ 16) แสดงถึงการที่อนุภาคดินในตัวอย่างดินดังกล่าวมีขนาดเล็ก หรือมีสัดส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กจำพวกแร่ เคโอลิไนต์ในสัดส่วนที่มากกว่าดินอื่นๆ

**กลุ่มที่สาม** ได้แก่ตัวอย่างดิน M2 ซึ่งเป็นดินที่มีสมบัติทางกายภาพอยู่ระหว่างกลุ่มที่หนึ่งและสอง กล่าวคือ ต้องใช้น้ำในการเตรียมในมีสภาพพลาสติกปานกลาง ระหว่างร้อยละ 22-33 มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยปานกลาง (6.6 ไมครอน) และมีปริมาณกากค้างตะแกรงรวมประมาณร้อยละ 29 ซึ่งอยู่ระหว่างกลุ่มที่ 1 และ 2 หลังอบแห้งดินตัวอย่างดิน M2 มีการหดตัวค่อนข้างต่ำเพียงร้อยละ 3.4 หลังการเผาที่อุณหภูมิ 1000°C ดิน M2 มีการหดตัวเพิ่มขึ้นจากเมื่อเผาที่ 800°C อีกประมาณร้อยละ 1-1.5 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ระหว่างตัวอย่างดินในสองกลุ่มแรกอีกเช่นกัน

**สมบัติทางกายภาพ และเกณฑ์ในการประเมินคุณภาพดินปั้น**

ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพทั้งก่อนและหลังเผาเช่น สภาพพลาสติก ค่าการหดตัว ค่าการดูดซึมน้ำ มีแนวโน้มที่สัมพันธ์กับขนาดอนุภาคของดินอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น การหา**ปริมาณกากค้างตะแกรงร่อน** อาจเป็นวิธีอย่างง่ายวิธีหนึ่งในการประเมินคุณภาพของเนื้อดินปั้นพื้นบ้านที่ให้ผลค่อนข้างเร็วและแม่นยำ ในเบื้องต้นอาจกำหนดไว้ว่า ดินที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ควรมีค่ากากค้างตะแกรงรวมในช่วง**ร้อยละ 30 – 34**

วิธีทดสอบสมบัติประเมินคุณภาพดินปั้นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถปฏิบัติได้ง่ายและรวดเร็ว คือ การทดสอบหา**ปริมาณน้ำสูงสุด**ที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก จากผลการทดลอง พบว่าช่วงที่เหมาะสมสำหรับดินปั้น คือ**ร้อยละ 25 – 35** และดินนั้นๆ ควรมีค่าปริมาณน้ำต่ำสุดและปริมาณน้ำสูงสุดสำหรับการทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก**ต่างกันที่ประมาณร้อยละ 4 – 5**

นอกจากนี้ การวัด**ค่าการหดตัว** ทั้งการหดตัวหลังอบแห้งและการหดตัวหลังเผาที่ 1000°C อาจเป็นอีกวิธีหนึ่งในการประเมินคุณภาพเนื้อดินปั้น ในเบื้องต้นหากอ้างอิงจากค่าซึ่งวัดจากตัวอย่างดินที่ช่างปั้นยอมรับว่ามีคุณสมบัติที่เหมาะสม (เช่นตัวอย่างดิน M5) อาจกำหนดเกณฑ์ในการประเมิน คือ **ค่าการหดตัวรวม**ของดินหลังผ่านการอบแห้งและเผาที่ 1000°C ต้องมีค่าในช่วง**ร้อยละ 5.5 – 6.5**

อนึ่ง หากดินที่ต้องการนำมาใช้มีความเหนียวดีแต่มีการหดตัว หรือค่าปริมาณน้ำสำหรับทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติกที่สูงเกินเกณฑ์ที่กำหนด ก็อาจใช้วิธีการเติมทรายละเอียดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช ครั้งละประมาณ 5-10 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก เพื่อปรับลดค่าดังกล่าวให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

ส่วนกรณีของดินตัวอย่าง M2 ที่จากการสอบถามพบว่ามักจะพบปัญหาการกะเทาะของผิวจากแคลเซียมออกไซด์ และเนื้อดินมีการเปลี่ยนเป็นสีคล้ำขึ้นเมื่อผึ่งไว้ให้แห้งเป็นระยะเวลานาน แต่จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF พบว่าปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างดิน M2 ไม่ได้แตกต่างจากในตัวอย่างดินอื่น มีเฉพาะในตัวอย่างดิน M1 เท่านั้นที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบสูงกว่าในตัวอย่างดินอื่น ๆ ประมาณหนึ่งเท่าตัว เพื่อทดสอบการเกิดตำหนิประเภทนี้ ผู้วิจัยได้นำตัวอย่างดิน M2 มาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 เมช เพื่อทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบจาก แล้วเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 1000°C และปล่อยไว้เป็นเวลาประมาณ 6 เดือน แต่ไม่พบตำหนิแบบกะเทาะตามที่ผู้ประกอบการได้ระบุ

จากเงื่อนไขและข้อจำกัดต่าง ๆ ตั้งแต่ในขั้นตอนการเก็บตัวอย่างดินและความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่เกี่ยวกับปัญหาในการใช้งานของดินแต่ละแหล่งตั้งแต่เริ่มต้น เนื่องจากผู้ประกอบการไม่ได้มีการจัดเก็บดินจากแต่ละแหล่งให้แยกออกจากกันอย่างชัดเจน เพียงแต่กองไว้ในบริเวณใกล้กัน เมื่อมีการสั่งซื้อดินใหม่เข้ามาใช้ก็จะเทกองทับด้านบน ทำให้ในการจำแนกตัวอย่างดินจากแต่ละแหล่งที่ต้องอาศัยความชำนาญของผู้ประกอบการจึงมีโอกาสผิดพลาดได้ อีกทั้งปัญหาที่ตัวอย่างดินจากบางแหล่งมีเหลืออยู่น้อยเกินไป จึงอาจไม่ใช่ตัวแทนที่ดีได้ ด้วยเงื่อนไขเหล่านี้ อาจส่งผลให้เกณฑ์ในการประเมินที่กำหนดขึ้นมีความคลาดเคลื่อนได้ ในอนาคตจึงควรมีการขยายผลโดยทำการศึกษากับตัวอย่างดินที่ทราบปัญหาชัดเจนและมีปริมาณมาก และควรมีการใช้กระบวนการทางสถิติในการวางแผนและวิเคราะห์ข้อมูลอย่างเต็มรูปแบบเพื่อให้ได้เกณฑ์ประเมินที่มีความถูกต้องแม่นยำเพิ่มมากขึ้นต่อไป

**การพัฒนาเครื่องมือทดสอบเนื้อดินปั้นอย่างง่าย**

สำหรับการประเมินสมบัติของดินปั้นพื้นบ้านในภาคสนามซึ่งต้องปฏิบัติโดยกลุ่มชาวบ้านเองนั้น ต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการทดสอบ กล่าวคือ ต้องสามารถใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน แต่ให้ผลการทดสอบที่แม่นยำพอสมควร ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ที่เรียกว่า “ชุดทดสอบสมบัติของเนื้อดินปั้นอย่างง่าย” ขึ้นโดยสามารถใช้ในการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคดิน หาปริมาณน้ำสูงสุดที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก ใช้เตรียมแท่งทดสอบสำหรับวัดค่าปริมาณน้ำต่ำสุดที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก การวัดค่าการหดตัว และการวัดความแข็งแรงของดินทั้งก่อนและหลังเผาได้ ดังต่อไปนี้

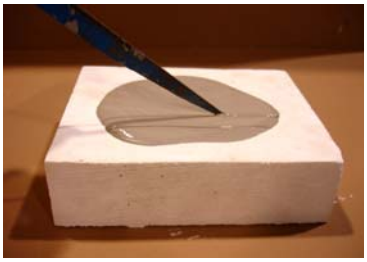
**ชุดตะแกรงร่อนสำหรับหาปริมาณกากค้างตะแกรง**

ใช้ในการหาร้อยละของกากค้างตะแกรง ตัวถาดทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ส่วนตะแกรงใช้เป็นสเตนเลส ยึดให้แน่นแล้วอุดบริเวณรอยต่อด้วยกาวซิลิโคน โดยหนึ่งชุดประกอบด้วยตะแกรงที่มีความละเอียด 4 ระดับ คือ จากระดับที่มีช่องขนาดใหญ่ที่สุด 60 เมช, 120 เมช, 200 เมช และละเอียดที่สุด คือ 325 เมช ดังแสดงในภาพที่ 5 ชุดตะแกรงร่อนนี้ เหมาะสำหรับใช้วิเคราะห์กากค้างตะแกรงโดยใช้ผงดินแห้งเริ่มต้นในปริมาณ 100 กรัม

**ภาพที่** 5 ชุดตะแกรงร่อนสำหรับหาปริมาณกากค้างตะแกรง

**แผ่นปูนปลาสเตอร์ สำหรับหาปริมาณน้ำสูงสุดที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก**

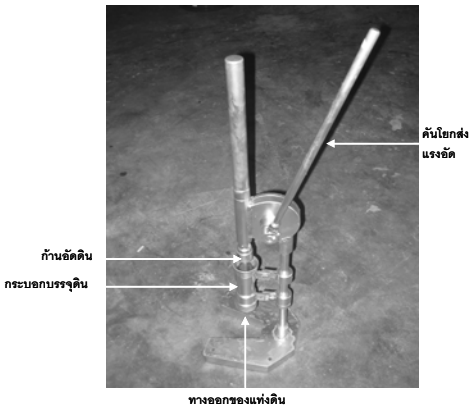
การทดลองหาปริมาณน้ำสูงสุดที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติกนั้น ใช้แผ่นปูนปลาสเตอร์ที่หนาประมาณ เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 6 เพื่อช่วยในการดูดซับน้ำออกจากเนื้อดิน ในการเตรียมปูนปลาสเตอร์ใช้อัตราส่วนในการผสมระหว่างผงปูนและน้ำเป็น 100:70



**ภาพที่** 6 แผ่นปูนปลาสเตอร์ สำหรับหาปริมาณน้ำสูงสุดที่ทำให้เนื้อดินเกิดสภาพพลาสติก

**เครื่องรีดดินสำหรับการขึ้นรูปแท่งทดสอบ**

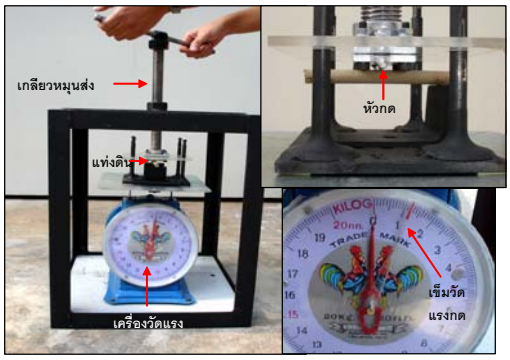
เครื่องรีดดินในภาพที่ 7 ใช้สำหรับเตรียมแท่งดินทรงกระบอกให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.0 เซนติเมตร ซึ่งช่วยให้ผู้ทดสอบสามารถเตรียมชิ้นทดสอบที่มีขนาดสม่ำเสมอ ในการใช้งานต้องพยายามอย่าให้เส้นดินที่รีดออกมาโค้งงอ อาจใช้แผ่นไม้ยาวๆ รองรับเส้นดินที่ถูกรีดออกมา




**ภาพที่** 7 เครื่องรีดดิน

**ชุดทดสอบความแข็งแรงของแท่งดินแบบกดสามจุด**

การทดสอบความแข็งแรงของดินทั้งก่อนและหลังเผาด้วยชุดทดสอบความแข็งแรงอย่างง่าย ดังภาพที่ 8 สามารถใช้แท่งดินเดียวกันกับที่ใช้วัดค่าการหดตัวของดิน และในการทดลองแต่ละครั้งควรทำการทดสอบกับชิ้นทดสอบอย่างน้อย 5 ชิ้นเพื่อหาค่าเฉลี่ย ในการเพิ่มแรงกดควรหมุนอย่างช้าๆ แต่ต่อเนื่อง จนเมื่อชิ้นงานทดสอบแต่ละชิ้นหัก ผู้ทดสอบสามารถอ่านค่าน้ำหนักสูงสุดจากเข็มสีแดงของเครื่องชั่งซึ่งค้างอยู่ ณ ค่าน้ำหนักสูงสุด อ่านค่าให้ได้ละเอียดถึง 100 กรัม (0.1 กิโลกรัม) หลังจากได้ค่าเฉลี่ยจาก 5 ครั้งแล้ว เทียบหาค่าความแข็งแรงได้จากตารางเทียบค่าที่จัดเตรียมไว้




**ภาพที่** 8 ชุดทดสอบความแข็งแรงของแท่งดินแบบกดสามจุด

**อุปกรณ์อื่น ๆ**

อุปกรณ์อื่นๆ ที่ผู้วิจัยได้จัดหาสำหรับการใช้ทดสอบเนื้อดินภาคสนาม ได้แก่ เตาเผาแบบใช้แกส ขนาด 1 แผ่น สำหรับการเผาชิ้นทดสอบ สามารถเผาได้สูงสุดถึง 1300°C (ภาพที่ 9) และเครื่องชั่งไฟฟ้าสำหรับการชั่งน้ำหนักดินเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นในเนื้อดิน สามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม (ภาพที่ 10)

**ภาพที่** 9 เตาเผาแบบใช้แก๊สสำหรับการเผาและการอบแห้งชิ้นทดสอบ

**ภาพที่** 10 เครื่องชั่งไฟฟ้าสำหรับการชั่งน้ำหนักดินเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้น

**เอกสารอ้างอิง**

1. อรพิน สมมิตร. **การปรับปรุงองค์ประกอบของดินแดงบ้านสันจกปกจังหวัดพะเยาเพื่อพัฒนา คุณภาพเครื่องปั้นดินเผา**. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ. 2538

2. ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. **เนื้อดินเซรามิก** สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ กรุงเทพ พ.ศ. 2541

3. พิมพวัลคุ์ วัฒโนภาส และสุมาลี ลิขิตวนิชกุล. (ม.ป.ป.) **การวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงเนื้อดินปั้นราชบุรี**. ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กรุงเทพ

4. สุธี วัฒนศิริเวช, ดรุณี วัฒนศิริเวช และศรัณย์ โปษยะจินดา. **รายงานการวิจัยเรื่อง การสำรวจด้านการจัดการและตำหนิในผลิตภัณฑ์ของโรงงานเซรามิกในจังหวัดลำปางและเชียงใหม่** มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง พ.ศ. 2543

5. J. Dickerson (1974) อ้างถึงใน อายุวัฒน์ สว่างผล **วัตถุดิบที่ใช้แพร่หลายในงานเซรามิกส์** สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ กรุงเทพ พ.ศ. 2543

6. W. M. Carty and C. Lee, **Science of Whitewares**, p.89 –101, The American Ceramic Society, USA, 1996.

7. W.G. Lawrence, **Ceramic Science for Potter**, Chilton Book, USA, 1972.

8. M.N. Rahaman, **Ceramic Processing and Sintering** 2nd **ed**., Marcel Dekker, Inc., USA, 2003.